

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta Strojní  
Katedra automatizační techniky a řízení

Automatizace modelu výrobní linky s využitím  
rozpoznávání obrazu

Production Line Model of Automation with Use of  
Image Recognition

Student: Bc. Jiří Frýdl

Vedoucí diplomové práce: Ing. Jiří Kulháněk, Ph.D.

Ostrava 2014

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jiří Frýdl**  
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 3902T004 Automatické řízení a inženýrská informatika  
Téma: **Automatizace modelu výrobní linky s využitím rozpoznávání obrazu**  
**Production Line Model of Automation with Use of Image Recognition**

### Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se s modelem výrobní linky firmy GUNT na kat. 352, popište jeho současné senzory a akční členy a jejich parametry a rozsahy.
2. Realizujte připojení modelu výrobní linky k PC pomocí měřicí karty na sběrnici USB. Vytvořte vzorové kódy realizující ovládání linky v prostředí LabView a Matlab.
3. Doplněte model výrobní linky o průmyslovou kameru se vstupem do PC pomocí USB nebo ethernet. Vytvořte vzorové kódy realizující snímání obrazu z kamery v prostředí VisionBuilder, LabView a Matlab.
4. V prostředí LabView vytvořte vzorovou úlohu detekce kvality výrobků - strojních součástí na modelu výrobní linky metodou rozpoznávání obrazu.
5. Zhodnoťte technické možnosti modelu výrobní linky pro úlohy rozpoznávání obrazu, navrhněte jeho možné rozšíření.

### Seznam doporučené odborné literatury:

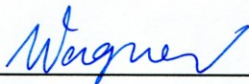
Vlach J., Havlíček J., Vlach M. *Začínáme s LabVIEW*, 2008, Praha, BEN, ISBN 978-80-7300-245-9.  
Sojka, E. *Digitální zpracování a analýza obrazů*, Ostrava VŠB, 2000. 133s. ISBN 80-7078-746-5.  
Hlaváč, V. Sedláček, M. *Zpracování signálů a obrazů*, Praha, ČVUT, 2007. 255s. ISBN 978-80-01-03110-0.  
G.U.N.T Gerätebau GmbH, *IA 210 PLC Application: Materials Handling Process*, Barsbüttel, Germany, 2013, 3s. Dostupné online z  
<http://www.gunt.de/networks/gunt/sites/sl/mmcontent/produktbilder/05821000/Datenblatt/05821000%202.pdf>

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jiří Kulhánek, Ph.D.**

Datum zadání: 13.12.2013

Datum odevzdání: 19.05.2014



doc. Ing. Renata Wagnerová, Ph.D.  
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě : 19.5. 2014 .....

.....  


Bc. Jiří Frýdl

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі́, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі́, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : 19.5. 2014 .....

  
.....  
Bc. Jiří Frýdl

Bc. Jiří Frýdl  
Hornická 658  
735 43, Albrechtice



# ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Frýdl, J. *Automatizace modelu výrobní linky s využitím rozpoznávání obrazu: diplomová práce*. Ostrava: VŠB-Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra automatizační techniky a řízení, 2014, 53 s. Vedoucí práce: Kulhánek, J.

Hlavním tématem této diplomové práce bylo využití strojového vidění pro vzhledovou kontrolu na automatizovaném modelu výrobní linky. Komunikace s výrobní linkou probíhá přes USB měřicí kartu od National Instruments. V teoretické části práce byly popsány obecné vlastnosti kamerových systémů a použita vývojová prostředí. Cílem aplikace vytvořené v NI Vision Builder bylo otestovat komunikace s hardwarem. Poté bylo využitím matematického software MATLAB vytvořeno grafické uživatelské rozhraní umožňující ovládání výrobní linky a kamery. Hlavní část práce spočívala ve vytvoření automatického chodu linky ovládanou pomocí LabVIEW a mající za cíl kontrolu jakosti povrchu výrobku.

# ANNOTATION OF MASTER THESIS

Frýdl, J. *Production Line Model of Automation with Use of Image Recognition: Master Thesis*. Ostrava: VŠB-Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Control Systems and Instrumentation, 2014, 53 p. Thesis head: Kulhánek, J.

The main topic of this master thesis is dealing with machine vision for visual inspection on automated production line model. Communication with production line is realized over National Instruments USB data acquisition device. In theoretical part of master thesis were describe use of video cameras in industrial environment and development environments. The application developed in NI Vision Builder sets in goal to try communication with hardware. Next was created graphical user interface by using mathematical software MATLAB to the production line control and the camera control. The main part of this master thesis consisted in the creation of the line automatic control using LabVIEW with quality inspection of the product surface.

# OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD .....</b>	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>DIGITÁLNÍ OBRAZOVÝ ZÁZNAM.....</b>	<b>9</b>
2.1	Digitalizace obrazu .....	9
2.2	Analýza obrazu .....	10
2.3	Segmentace .....	10
2.4	Barevný obraz .....	11
<b>3</b>	<b>SEZNÁMENÍ S VÝROBNÍ LINKOU .....</b>	<b>12</b>
3.1	Vstupy .....	13
3.2	Výstupy .....	13
3.3	Vyvedení vstupů a výstupů .....	14
<b>4</b>	<b>NÁVRH KAMEROVÉHO SYSTÉMU .....</b>	<b>15</b>
4.1	Výběr strojní součásti pro dopravníkovou linku .....	15
4.2	Výběr kamery.....	16
4.3	Výběr objektivu.....	17
4.4	Výběr osvětlení .....	19
4.5	Komunikace s dopravní linkou .....	20
4.6	Další prvky kamerového systému .....	21
<b>5</b>	<b>POPIS PROGRAMOVÝCH PROSTŘEDÍ .....</b>	<b>23</b>
5.1	MATLAB a GUI.....	23
5.2	NI Vision Builder.....	24
5.3	NI LabVIEW .....	25
5.4	Komunikace s měřicí kartou .....	27
<b>6</b>	<b>NÁVRH A REALIZACE APLIKACE V NI VISION BUILDER.....</b>	<b>29</b>
6.1	Sestavený kamerový systém .....	29
6.2	Volba inspekčních předmětů.....	31
6.3	Vzorová aplikace.....	31
6.4	Klasifikace podložek.....	32
6.5	Uživatelské prostředí.....	33
6.6	Běh aplikace .....	33

6.7	Zhodnocení kontroly .....	34
<b>7</b>	<b>NÁVRH A REALIZACE APLIKACE V MATLABU .....</b>	<b>35</b>
7.1	Sestavený kamerový systém .....	35
7.2	Vytvoření aplikace .....	36
7.3	Popis vytvořené aplikace .....	39
<b>8</b>	<b>NÁVRH A REALIZACE APLIKACE V NI LABVIEW .....</b>	<b>42</b>
8.1	Manuální režim .....	43
8.1.1	Měření intenzity odraženého světla .....	45
8.1.2	Detekce hran .....	45
8.2	Automatický režim.....	46
8.3	Zhodnocení aplikace .....	48
<b>9</b>	<b>MOŽNOST ROZŠÍŘENÍ MODELU VÝROBNÍ LINKY .....</b>	<b>49</b>
<b>10</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>50</b>
<b>11</b>	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>52</b>

# SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

<b>CCD</b>	Charge-Coupled Device – zařízení s vázanými náboji, součástka
<b>CMOS</b>	Complementary Metal–Oxide–Semiconductor – technologie výroby polovodičů
<b>DAQ</b>	Data Acquisition – sběr dat
<b>FPS</b>	Frames Per Second – počet snímků za sekundu
<b>Gigabit Ethernet</b>	Počítačová síť
<b>GigE Vision</b>	standard pro průmyslové kamery pracující s rychlostí přenosu 1 gigabit za sekundu
<b>GUI</b>	Graphical User Interface -grafické uživatelské rozhraní
<b>GUIDE</b>	GUI Development Environment - grafické uživatelské prostředí programu MATLAB
<b>HW</b>	Hardware
<b>LED</b>	Ligt Emitting Diode – dioda emitující světlo
<b>MAX</b>	Measurement and Automation Explorer
<b>Mpx</b>	Megapixel
<b>NI</b>	National Instrument
<b>PC</b>	Personal Computer – osobní počítač
<b>PLC</b>	Programmable Logic Controller – programovatelný logický automat
<b>PoE</b>	Power over Ethernet – napájení po datovém síťovém kabelu
<b>px</b>	Pixel
<b>RGB</b>	Red-Green-Blue – barevný model, červená-zelená-modrá
<b>SW</b>	Software
<b>TTL</b>	Tranzistorově-tranzistorová logika
<b>Trigger</b>	Spouštěč snímání kamery
<b>USB</b>	Universal Seríál Bus – univerzální sériová sběrnice
<b>VBAI</b>	Vision Builder for Automated Inspection
<b>VI</b>	Virtual Instrument – virtuální měřicí přístroj



# 1 ÚVOD

Zaváděním strojového vidění do oblasti průmyslu si klade za cíl snížit výrobní náklady, a tím zvýšit konkurenci schopnost firmy na trhu, ale hlavně zvýšit výslednou kvalitu výrobků. Tato kvalita se někdy označuje jako totální, kdy dochází ke kontrole každého vyrobeného kusu.

Jednoduše lze celý chod popsat tak, že kamera sejme obraz a následně jej řídicí systém vyhodnotí dle vytvořeného algoritmu. Dle výsledku kontroly poté řídicí systém provede akční zásah. Nejčastěji to bývá vyřazení vadného kusu z linky. Strojové vidění lze například použít pro neinvazivní a bezdotykové měření rozměrů, čtení čárových kódů, kontrolu jakosti povrchu, detekci přítomnosti, rozpoznávání barvy a mnoho dalších případů.

Po teoretickém úvodu do zpracování obrazu se dále v první části diplomové práce seznámíme s modelem dopravníkové linky. Tato linka hraje stěžejní úlohu v celé diplomové práci, neboť mým úkolem bylo vytvořit z modelu dopravníkové linky plně automatizovanou linku, která by simulovala skutečnou výrobu s možností kontroly kvality výrobků pomocí kamerového systému.

Proto se v následující kapitole zabývám obecně návrhem kamerového systému a popisu jeho důležitých částí. Následně jsou popisovány vlastnosti vybraných a použitých prvků pro tuto aplikaci strojového vidění. Ve čtvrté kapitole se věnuji popisu SW nástrojů pro vývoj aplikací s využitím kamerového systému.

Ve zmíněných prostředích jsem následně vytvořil vzorové aplikace, které jsem popsal v následujících kapitolách.

## 2 DIGITÁLNÍ OBRAZOVÝ ZÁZNAM

Jelikož již ze samotného názvu diplomové práce vyplývá, že podstatná část práce se zabývá zpracováním obrazu, kladu za nutné uvést alespoň základní úvod do teorie zpracovávání obrazů.

### 2.1 Digitalizace obrazu

Analogový 2D snímaný obraz lze například charakterizovat pomocí dvou prostorových souřadnic  $x$  a  $y$ , jakožto spojitou funkcí jasu  $f(x, y)$ . Takovýto analogový obraz má teoreticky nekonečný rozsah obrazových hodnot, avšak bude zobrazen v konečném počtu barev s konečným množstvím pixelů. Pokud je našim cílem zpracovávat obraz na PC, je nutné jej digitalizovat. Digitálním obrazem se rozumí obraz, který je představován maticí o  $M$  řádcích s  $N$  sloupci, kdy hodnota  $M \times N$  představuje počet pixelů, kterým je obraz určen. Digitální obrazu vzniká ze spojitého pomocí dvou následujících kroků:

- **Vzorkování** – digitalizace signálu v čase.

Vzorkováním se v předem daných intervalech zaznamenávají hodnoty vzorků. Vzdálenost mezi nimi se nazývá vzorkovací perioda. Právě tato vzorkovací perioda se musí volit s ohledem na Nyquistův-Shannonův teorém, který říká, že vzorkovací frekvence musí být alespoň dvakrát větší, než je maximální modulační frekvence. Při nedodržení teorému dojde ke ztrátě obrazové informace. Další důležitou součástí při vzorkování je volba vzorkovací mřížky, tj. plošné uspořádání bodů při vzorkování. V praxi je nejvíce používána čtvercová mřížka, avšak využívají se i rovnostranné trojúhelníky a pravidelné šestiúhelníky. Jednomu vzorkovacímu bodu odpovídá obrazový element, který se nazývá pixel.

Při zpracování obrazů je rozumné vzorkovat alespoň pětikrát jemněji než je teoretická mez dána vzorkovací větou [Hlaváč, V.; Sedláček, M., 2007].

- **Kvantování** – digitalizace signálu v amplitudě.

Kvantování představuje diskretizaci jasových úrovní, čímž jednotlivé úrovně dosahují celočíselných hodnot. Aby byly přesně vyjádřeny jemné detaily obrazu, je nutné volit dostatečně velké úrovně kvantování, jinak by mohly vzniknout falešné obrysy.

Jestliže je pro reprezentaci informace o obrazovém elementu použito  $b$  bitů, je počet úrovní jasu  $k = 2^b$ . Obvykle se používá 8 bitů na obrazový element, někdy 6, jindy postačí 4 bity. Binární obrazy reprezentují informaci o obrazovém bodě jediným bitem [Hlaváč, V.; Sedláček, M., 2007].

## 2.2 Analýza obrazu

Základní grafickou informaci o rozložení jednotlivých jasových složek získáme pomocí histogramu. Často bývá jedinou globální informací o obraze. Můžeme ho použít při nastavování podmínek pro snímání a digitalizaci, při změnách jasové stupnice a při segmentaci obrazu na objekty a okolí. Histogram budu dále popsán v kapitole zabývající se tvorbou aplikace v LabVIEW, proto zde budou uvedeny základní vzorce.

Histogram digitálního obrazu s hodnotami jasu v rozsahu  $< 0, L - 1 >$  je diskrétní funkcí:

$$h(r_k) = n_k \quad (2.1)$$

kde  $r_k$  je  $k$ -tá úroveň šedi a  $n_k$  je počet pixelů v obraze s úrovní šedi  $r_k$ .

V normalizovaném tvaru jsou jednotlivé složky poděleny celkovým počtem pixelů  $n$  v obraze. Normalizovaný tvar histogramu je určen rovnicí:

$$p(r_k) = \frac{n_k}{n} \quad (2.2)$$

pro  $k = 0, 1, \dots, L-1$ . Kde  $p(r_k)$  udává pravděpodobnost výskytu úrovně šedi  $r_k$  [Sojka, E., 2000].

## 2.3 Segmentace

Jedním z nejdůležitějších kroků, který vede k analýze obsahu obrazových dat, patří segmentace, jejímž cílem je obraz rozčlenit na jednotlivé části, které mají úzkou souvislost s předměty, či oblastmi reálného světa.

O kompletní segmentaci se jedná právě tehdy, když výstupní obraz obsahuje navzájem se nepřekrývající části a odpovídá rozložení objektů ve vstupním obraze. Pokud jednotlivé rozložení objektů neodpovídá originálu, pak se jedná o částečnou segmentaci. Tato segmentace pak sdružuje objekty se stejnými vlastnostmi, jako jsou textura, barva, jas aj. Typickým zástupcem segmentace jsou hranové detektory.

## 2.4 Barevný obraz

Smíchání tří samostatných barevných složek dá vzniknout barevnému modelu RGB. Jsou to:

- R - červená (vlnová délka 700 nm),
- G - zelená (vlnová délka 546,1 nm),
- B - modrá (vlnová délka 435,8 nm).

Při zpracování barevného obrazu na PC se každá složka samostatně digitalizuje a přenáší. Pokud srovnáme barevný obraz s monochromatickým, viz předešlá kapitola 2.1, každá dvojice plošných souřadnic ( $x$ ,  $y$ ) obsahuje navíc vektor hodnot, např. jasů pro jednotlivé barevné složky obrazu [Sojka, E., 2000].

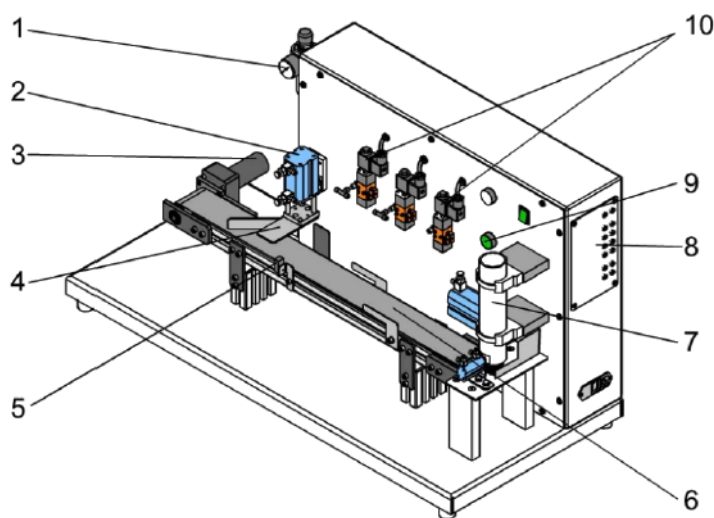
Z výše popsaného vyplývá, že při použití barevného modelu budeme mít oproti monochromatickému větší množství dat a značnou podobnost mezi odpovídajícími si daty ve složkách. I z těchto důvodů se pro zpracování obrazu volí převod z RGB do odstínu šedé, kdy se podle níže uvedeného vzorce určuje, jak velký podíl budou mít jednotlivé barevné složky na intenzitu šedé barvy pro každý pixel.

$$f = 0,3 \cdot R + 0,59 \cdot G + 0,11 \cdot B, \quad (2.3)$$

kdy je  $f$  - váhový koeficient pro převod RGB do odstínu šedé,  
R, G, B- úroveň jasů jednotlivých složek v barevném obraze.

### 3 SEZNÁMENÍ S VÝROBNÍ LINKOU

V této části diplomové práce se seznámíme s modelem výrobní linky od německé firmy GUNT (Obr. 3.1.). Tento model představuje výbornou pomůcku pro studenty, neboť na ni lze prakticky simulovat děj skutečné výrobní linky, kdy lze libovolně ovládat všechny akčními zásahy a identifikovat stavy jednotlivých vstupů. Ty má model linky dva, a to čidlo přítomnosti objektu v zásobníku a laserový fotoelektrický spínač. Co se týče výstupů, tak ty model obsahuje celkem čtyři – ovládání chodu motorku pásu a ventily A, B a C. Jednotlivé vstupy a výstupy jsou níže detailněji popsány. Linka byla navržena pro komunikaci s PLC, avšak v této práci byl použit jiný způsob řízení, který bude popsán v jedné z dalších kapitol. Soustava pracuje s doporučeným tlakem 3 bar a lze z jejího výstupního panelu vyvést 24 V.



Obr. 3.1 Model výrobní linky, převzato z [G.U.N.T, 2005]

1. Ukazatel tlaku vzduchu v soustavě.
2. Dvojčinný pneumatický válec.
3. Motor pohánějící dopravníkový pás.
4. Nástavec umožňující třídění výrobků.
5. Fotoelektrický reflexní snímač.
6. Dopravníkový pás.
7. Zásobník výrobků.
8. Konektory vstupů a výstupů.
9. Indikátor přítomnosti výrobku.
10. 5/2 cestné elektromagnetické ventily.

### 3.1 Vstupy

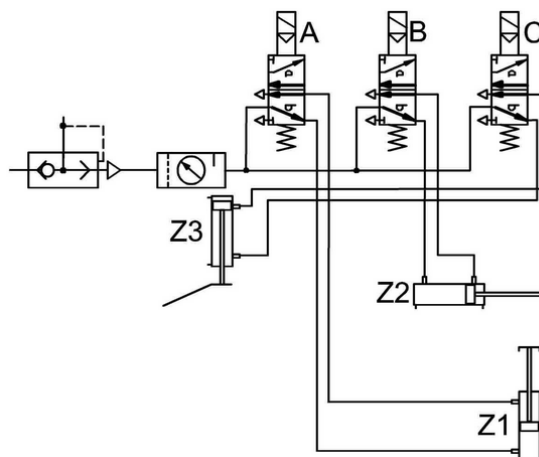
Na tomto modelu můžeme monitorovat následující vstupy, kterým jsem pojmenoval dle vlastního uvážení, a toto označení je bude provázet celou prací. Jsou to:

- **Čidlo** – jedná se o laserový fotoelektrický snímač typu PNP. Výhoda použitého snímače tkví v tom, že díky intenzivnímu zdroji světla je vysoce odolný vůči nečistotám. Poloha snímače je vyobrazena na Obr. 3.1 bod 5.
- **Zásobník** – tento vstup detekuje přítomnost výrobku v zásobníku. Jedná se o nespojitý elektrokontaktní zdvihový snímač, kdy váha výrobků v zásobníku tlačí na volný konec snímače. Pokud se čidlo sepne, dochází ke skokově změně velikosti odporu.

### 3.2 Výstupy

Na modelu se dají ovládat celkem čtyři výstupy. Z toho tři jsou elektromagnetické ventily, jejichž schéma je na Obr. 3.2 a jedná se o dvojčinné válce. Abecední popisy odpovídají i těm na obrázku. Tyto výstupy jsem pak pojmenoval:

- **Ventil A** – dvojčinný válec se zdvihem 15 mm, plní v modelu funkci dávkovače výrobků ze zásobníku.
- **Ventil B** – umožňuje zdvih válce až 80 mm a pomocí něj pak umístíme výrobek ze zásobníku na pás.
- **Ventil C** – je umístěn na samém konci pásu. Pomocí 40 mm zdvihu pak dokážeme třídit výrobky po pásu jedoucí. To znamená, že pomocí akčního zásahu lze vyřadit neodpovídající výrobek.
- **Pás** – zde dochází k zapínání/vypínání motoru, který pohybuje pásem a jehož jmenovité otáčky dosahují hodnoty 22 min-1.

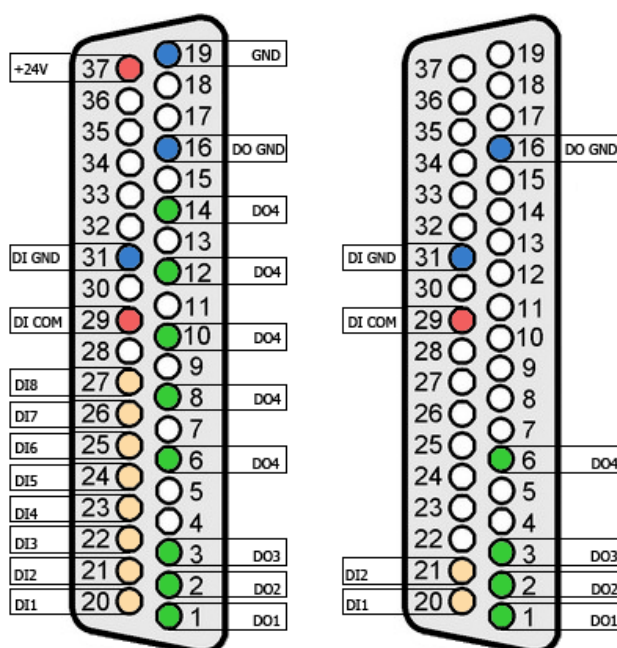


Obr. 3.2 Pneumatické schéma převzato z [G.U.N.T., 2005]

### 3.3 Vyvedení vstupů a výstupů

Pro další práci s modelem bylo nutné vyvést z něj vstupy a výstupy. Jelikož byla v roce 2011 na tuto linku napsaná Bakalářská práce studentem Martinem Štěpánem, kdy student linku ovládal pomocí PLC, vycházel jsem z jeho vyvedení vodičů z modelu. Bylo tedy využito jeho zapojení jen s tou obměnou, že jsem pomocí 37 pinového konektoru vyvedl jen ty vstupy a výstupy, které ke své práci potřebuji a ty byly popsány výše.

Níže, na Obr. 3.3, je na pravé straně obrázek mnou vytvořeného konektoru DE-37 F.



Obr. 3.3 Popis 37pinových konektorů



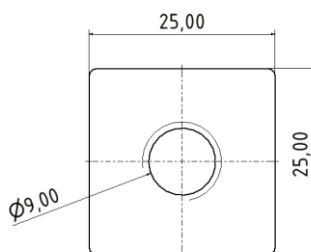
## 4 NÁVRH KAMEROVÉHO SYSTÉMU

Následující kapitola si klade za cíl popsat jednotlivé zvolené a použité části kamerového systému. Tímto pojem se myslím kamera, objektiv, osvětlení a prvky zajišťující komunikaci. Jak síťovou s kamerou, tak rozhraní pro ovládání dopravníkové linky. V první řadě je však nutné uvážit, o jaký kamerový test a na jakém výrobku bude následně proveden. Od tohoto uvážení se dále určují jednotlivé komponenty.

### 4.1 Výběr strojní součásti pro dopravníkovou linku

Při tomto výběru jsem byl limitován skutečností, že linka obsahuje svislý kruhový zásobník o průměru 40 mm. Pokud do něj byly umístěny součásti, které byly menší než zadaný průměr, tak vznikaly problémy s tímto spojením. Ať už šlo o jejich vzpříčení v zásobníku, špatné dávkování pomocí dvojčinného válce na pás, tak samotné dávkování obsluhou do zásobníku.

Bohužel se mi nepodařilo sehnat takové součásti, které by svými parametry splňovaly zmíněné omezení. Avšak získal jsem z nejmenovaného výrobního závodu součásti, které ač neodpovídaly vstupnímu omezení, tak byly nakonec použity, viz Obr. 4.1.



Obr. 4.1 Okótovaná strojní součást

Pro jejich vyšší stabilitu v zásobníku byla provedena úprava jejich styčných ploch s dopravníkovým pásem. Součásti byly podlepeny gumovými položkami, které mají barvu shodující se s barvou pásu, o průměru 40 mm. Tím byla splněna a vyřešena vstupní podmínka a i z toho plynoucí problémy.

Předmětem kamerového testu bude vzhledová kontrola. Součástky jsou před finálním předáním zákazníkovi pískovány a následně jsou pocínovány. A právě to je důvod vzhledové kontroly. Budu tedy simulovat dopravníkovou linku, která je plněna pocínovanými součástkami, a ta součástka která pocínována nebude, bude vyřazena jako chybná.



Obr. 4.2 Podlepené strojní součásti

## 4.2 Výběr kamery

Obecných kritérií pro výběr kamery je velice mnoho. Ať už se jedná o základní předpoklad výběru černobílého nebo barveného snímače, tak velikost a rozlišení čipu kamery, CMOS nebo CCD detektor. Dále máme na výběr z několika rozhraní připojení kamery k PC, což je dnes pomocí Ethernetu, USB anebo Firewire. Je také třeba zohlednit takt celého procesu a s tím související snímkovací rychlost kamery.

Pro účely strojového vidění si výběr zjednodušíme. Především musíme zvolit potřebné bodové rozlišení – pro účely měření v obraze nám rozlišení určuje velikost měřeného předmětu a požadavek na přesnost jeho měření. Jeden obrazový bod musí teoreticky odpovídat přesnosti měření. Tato teoretická přesnost a reprodukovatelnost měření je snižována mimo jiné vlivem šumu v obraze a nežádoucími artefakty, nutně provázejícími ztrátovou kompresi obrazových dat. Někdy dokonce můžeme využitím statistických metod dosáhnout i subpixelové přesnosti měření, obecně a bez znalosti věci ale takto navrhovat systém nelze. V případě jednočipové barevné kamery musíme brát v potaz přibližně poloviční lineární rozlišovací schopnost. Barevná mozaika má obvykle ze čtveřice obrazových bodů dva body zelené a po jednom bodu červeném a modrém. To přináší nejen nižší rozlišovací schopnost, ale také např. vzájemný posun obrazu v jednotlivých barevných kanálech [Cagaš, 2010].

Z výše uvedeného vyplývá, že při výběru základního prvku kamerového systému – kamery, musíme zohlednit širokou škálu aspektů přes velikost snímače, možnosti komunikace s PC a rozlišení kamery.

## Kamera Basler acA1300-60gm

Černobílá kamera od německé firmy Basler, která využívá standart GigE Vision, což je rozhraní pro vysoce výkonné průmyslové kamery využívající přenos informací po gigabitovém ethernetu. Díky svým malým rozměrům a svou univerzálností je tato kamera jednou z nejpoužívanějších průmyslových kamer. Kamera lze navíc napájet pomocí PoE, což se při instalaci kamery v obtížných místech projeví jako velké plus, jelikož odpadá starost s dalším napájecím kabelem. Více o kameře v Tab. 4.1.

Tab. 4.1 Technické parametry kamery Basler

Rozlišení [px]	1280 x 1024
Snímač	EV76C560
Velikost snímače	1/1,8"
Technologie	CMOS
FPS	60
Velikost pixelu [ $\mu m$ ]	5,3 x 5,3



Obr. 4.3 Kamera Basler acA1300-60gm, převzato z [Baslerweb, 2014]

### 4.3 Výběr objektivu

Volba typu objektivu a jeho zorného úhlu patří k nejdůležitějším rozhodnutím při návrhu systému strojového vidění. Běžné typy objektivů promítají obraz do plochy s tzv. perspektivní projekcí. To nás nutí zabývat se při návrhu vlastnostmi projektivního zobrazování třírozměrné scény do dvourozměrné plochy povrchu snímacího senzoru. Zorné pole objektivu je v tomto případě tvořeno pohledovým komolým kuželem. Obdélníková plocha obrazového senzoru pak tento kužel dále zredukuje na pohledový jehlan. Jeho vrchol nazýváme ohniskem projekce. Při převodu obrazu scény uvnitř pohledového jehlanu do obrazové plochy dochází ke značné ztrátě

informace. Každá polopřímka procházející ohniskem projekce je v obrazové ploše reprezentována jediným bodem [Cagaš, 2010].

Objektivy je také možno rozčlenit :

- Dle ohniskové vzdálenosti – s pevnou, variabilní a dálkově ovládanou.
- Dle zorného úhlu – širokoúhlé, teleobjektivy, standardní.
- Dle typu clony – beze clony, s automatickou clonou, s manuální clonou.

Výběr objektivu je tedy velice specifická záležitost. Vychází se z předpokladu umístění kamery a její následné vzdálenosti od zkoumaného objektu.

### Objektiv Fujinon HF25HA-1B

Pro tuto aplikaci byl zvolen objektiv od firmy Fujinon, který byl zvolen z několika důvodů. Jednak proto, že je přímo určen pro kamery, jejichž rozlišení není větší než 1,5 *Mpix*. Navíc poskytuje malou deformaci obrazu, lze jej manuálně ostřit a uzavírat clonu. Jeho pracovní vzdálenost se uvádí od 0,15 *m* až do nekonečna. Více technický parametrů tohoto objektivu je obsaženo v Tab. 4.2.

Tab. 4.2 Technické parametry objektivu Fujinon

Ohnisková vzdálenost [ <i>mm</i> ]	25
Světelnost	F1,4 - F22
Typ objektivu	C-mount



Obr. 4.4 Objektiv Fujinon HF25HA-1B, převzato z [Fujifilm, 2014]

#### 4.4 Výběr osvětlení

Jedním z nejdůležitějších aspektů při navrhování systému snímání, je správná volba osvětlení. Správně osvětlené snímky jsou lépe a rychleji zpracovány v rámci kontroly. Jedním z cílů osvětlení je oddělit snímáný objekt od pozadí tolika odstíny šedi, jak jen je možné. Pak je nutné nastavit systém snímání tak, aby nebyl ovlivňován sluneční svitem, počasím nebo denní dobou. Zamezíme tím různým výsledkům výsledné kontroly. V dnešní době jsou typickým zdrojem světla halogenová světla, LED žárovky a zářivky. Typ osvětlovací techniku může rozhodnout o úspěchu, či neúspěchu aplikace. Nesprávné osvětlení může způsobit stíny, či naopak odlesky, které snižují možnost správné kontroly. Musíme brát i ohled na to, jak objekt světelné paprsky odráží. Tomu musíme uzpůsobit i naši osvětlovací techniku.

Jeden z dalších typu osvětlovací techniky je podsvícení. Pokud je naším zájmem pouze zkoumat tvar objektu, můžeme vytvořit jeho siluetu tím, že za objekt umístíme zdroj světla. Osvícený objekt bude mít daleko ostřejší kontrast od pozadí. Pak bude práce jako hledání hran, či měření vzdáleností velice rychlé a snadné [NI, 2011].

#### Prstencový osvětlovač RK1220

Bylo tedy zvoleno červené kruhové LED světlo od firmy Vision & Control GmbH, které je určeno pro přímou montáž na tělo objektivu. Osvětlovač poskytuje dva režimy - statický a pulzní. Pro tento případ použití byl navíc přidán difuzní filtr pro stejnoměrné rozptýlení světelných paprsků. Více technických parametrů je popsáno v Tab. 4.3.

Tab. 4.3 Technické parametry osvětlovače

Napájení [VDC]	12-30
Barva/vlnová délka [nm]	červená, 630



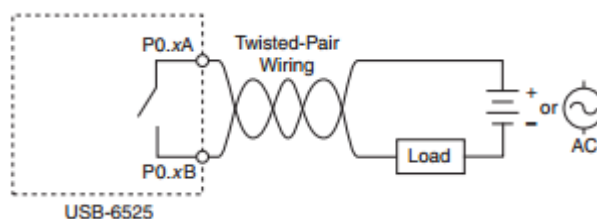
Obr. 4.5 Prstencový osvětlovač RK1220, převzato z [Vision & Control GmbH, 2013]

## 4.5 Komunikace s dopravní linkou

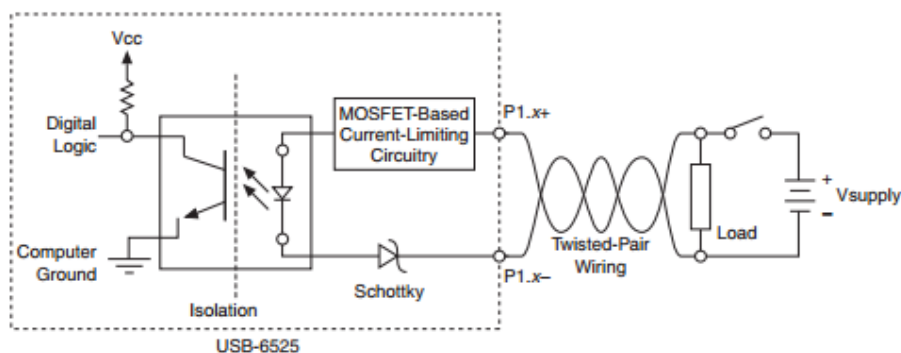
Jelikož jedním z požadavků diplomové práce je řízení dopravníkové linky počítačem, je nutné vybrat prvek, který by umožňoval spínat jednotlivé výstupy modelu a číst jeho vstupy. V závislosti na vybraném SW a při zohlednění pořizovací ceny, byla vybrána měřicí karta od National Instruments.

### Měřicí karta NI USB 6525

Přenosná měřicí karta od firmy National Instrument komunikuje s PC přes rozhraní USB. Jedná se o kartu, která je primárně určena pro sběr dat, popřípadě přímému měření, či generování signálu pomocí PC. Pro samotný chod potřebuje externí napájení po USB sběrnici. V případě mého použití bude primárně spínat výstupy dopravníkové linky a monitorovat náběžné hrany vstupů.



Obr. 4.6 Schéma pro spínání výstupů, převzato z [NI, 2009]



Obr. 4.7 Schéma pro připojení vstupů, převzato z [NI, 2009]

Ze základních vlastností NI USB-6525:

- Jedná se o malé, přenosné digitální I / O zařízení,
- 24 bitové rozlišení,
- maximální spínací proud  $500\text{ mA}$ ,
- $\pm 10\text{ V}$  rozsahu na kanál,
- jeden 32 bitový čítač,
- synchronizace s více zařízeními,
- plná rychlost USB ( $12\text{ Mb/s}$ ),
- odnímatelné konektory pro snadné připojení.



Obr. 4.8 Měřicí karta NI USB 6525, převzato z [NI, 2009]

## 4.6 Další prvky kamerového systému

Zvolenou kamera Basler lze napájet dvěma způsoby. Buďto 6 pinovým konektorem Hirose, nebo přes ethernet. Při využití první varianty by přibyl vedle ethernetového kabelu umožňujícího komunikaci kamery s PC, ještě ten napájecí. Proto byla zvolena jednokabelová varianta kamery. Kamera teda bude napájena pomocí gigabitového PoE injektoru. Vybraný injektor od firmy Tenda převede klasický



ethernet na PoE ethernet dle standardu 802.3af, což je standart, který poskytuje portu výkon až 15,4W.



**Obr. 4.9 PoE injektor Tenda PoE1500S, převzato z [Shenzhen Tenda Technology Co., 2013]**

## 5 POPIS PROGRAMOVÝCH PROSTŘEDÍ

Tato kapitola si klade za cíl popsat vývojové prostředí programů MATLAB, NI Vision Builder for Automated Inspection a NI LabVIEW. Není však účelem detailně popsat jednotlivá prostředí, ale spíše představit z nich jen opravdu to základní a zásadní pro vývoj aplikací. Implementaci získaných znalostí z této kapitoly bude využito při tvorbě vzorových aplikací. V poslední podkapitole poté bude popsáno, jakým způsobem jednotlivá prostředí komunikují s měřicí kartou.

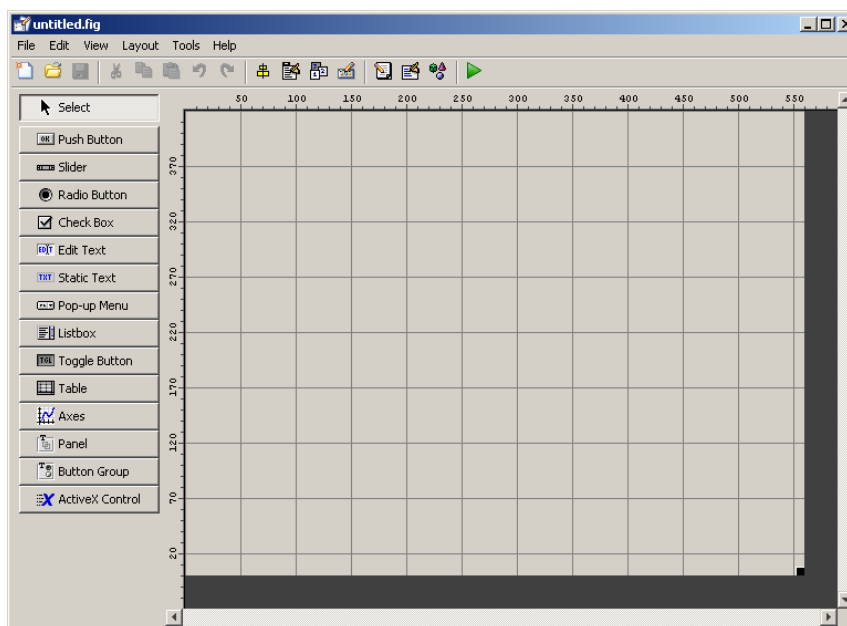
### 5.1 MATLAB a GUI

MATLAB je integrované prostředí pro vědeckotechnické výpočty, modelování, návrhy algoritmů, simulace, analýzu a prezentaci dat, paralelní výpočty, měření a zpracování signálů, návrhy řídicích a komunikačních systémů. MATLAB je nástroj jak pro pohodlnou interaktivní práci, tak pro vývoj širokého spektra aplikací.

Výpočetní systém MATLAB se během uplynulých let stal celosvětovým standardem v oblasti technických výpočtů a simulací ve sféře vědy, výzkumu, průmyslu i v oblasti vzdělávání. MATLAB poskytuje svým uživatelům nejen mocné grafické a výpočetní nástroje, ale i rozsáhlé specializované knihovny funkcí spolu s výkonným programovacím jazykem čtvrté generace. Knihovny jsou svým rozsahem využitelné prakticky ve všech oblastech lidské činnosti. Díky své architektuře je MATLAB určen zejména těm, kteří potřebují řešit početně náročné úlohy a přitom nechtějí nebo nemají čas zkoumat matematickou podstatu problémů. Více než milion uživatelů po celém světě využívá možnosti jazyka MATLABu, který je mnohem jednodušší než například Fortran nebo C a který skýtá obrovský potenciál produktivity a tvořivosti. Za nejsilnější stránku MATLABu je považováno mimořádně rychlé výpočetní jádro s optimálními algoritmy, které jsou prověřeny léty provozu na špičkových pracovištích po celém světě. MATLAB byl implementován na všech významných platformách [HUMOSOFT, 2013].

Pro vytvoření grafických uživatelských rozhraní (Graphical User Interface - GUI) slouží v MATLABu grafické vývojové prostředí GUIDE (GUI Development Environment). Jedná se o sadu návrhových nástrojů, které uživateli usnadňují práci s vytvářením výsledného GUI. Navíc usnadňuje práci tím, že jeho výstupem je již M-file, který odpovídá použitým grafickým prvkům, a tento M-file obsahuje kód pro ovládání, inicializaci a spouštění GUI. Vygenerovaný soubor pak poskytuje kostru pro

implementaci *Callback* funkcí, což jsou funkce, které se vykonají, jakmile je uživatel aktivuje, například kliknutím myši na objekt.

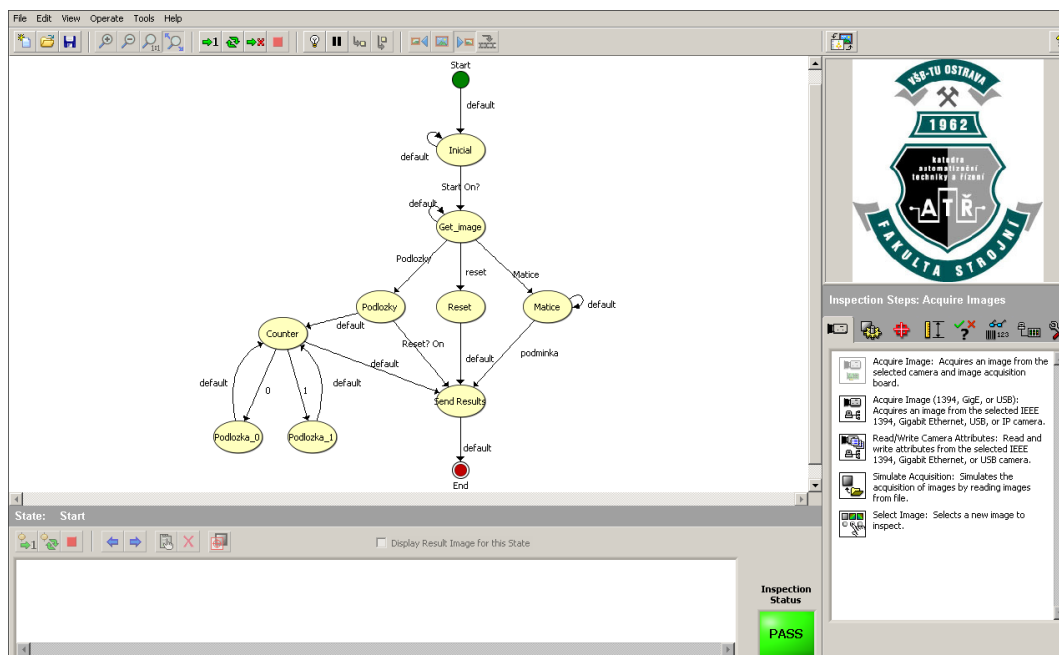


Obr. 5.1 GUIDE - základní pracovní okno

Na Obr. 4.1 lze vidět prázdná pracovní plocha GUI, na kterou lze následně z levé části umisťovat přetáhnutím myši jednotlivé komponenty (tlačítka, tabulky, vyskakovací okna, ...). V první řadě si musí programátor rozvrhnout pracovní plochu, poté vybrat jednotlivé komponenty a následně vygenerovat a naprogramovat výsledný M-file.

## 5.2 NI Vision Builder

Tento software od firmy National Instrument je výborným nástrojem pro tvorbu jednoduchých kamerových testů. Naprogramovaný kamerový test lze následně spustit jak na PC s Windows, tak i na inteligentních kamerách od NI. Program nabízí snímání obrazu z různých rozhraní kamer, ať už se jedná o tradiční GigE Vision, FireWire nebo USB 3.0. Získaný obraz lze dodatečně vylepšit pomocí Vision Assistant, který obsahuje rozličné druhy algoritmů pro zpracování obrazu. Obsahuje i nástroje pro komunikaci přes sériovou linku, Ethernet, či digitální I/O, které lze využít například pro komunikaci s PLC.



Obr. 5.2 Vývojové prostředí aplikace VB

### 5.3 NI LabVIEW

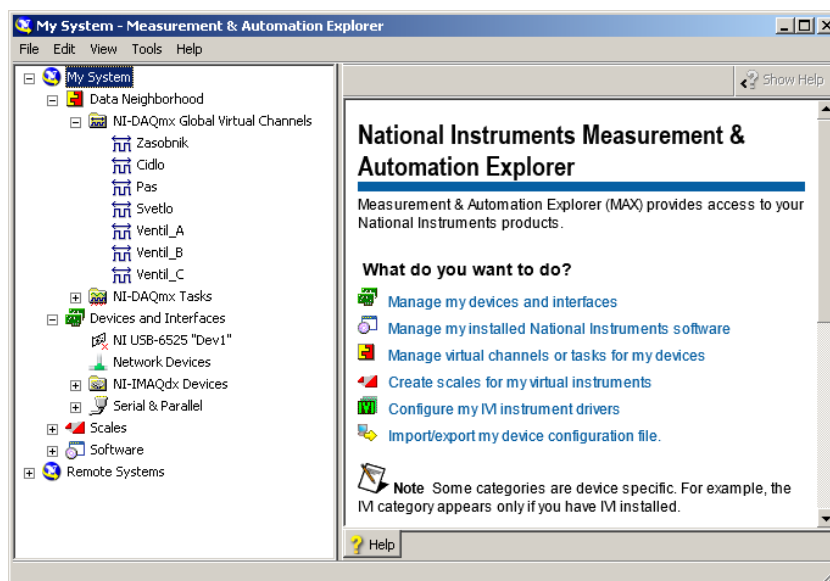
Základní použití LabVIEW v roce 1986 vycházelo z poznatku, že tím, kdo ví, co měřit, jak analyzovat a jak prezentovat data, je technik, který nemusí být sám zkušeným programátorem. Své představy tedy předává programátorovi obvykle v podobě blokového schématu. Programátor toto schéma potom převádí do syntaxe zvoleného programovacího jazyka, což je činnost poměrně zdlouhavá a náročná na přesnost a nepřináší již do procesu měření obvykle žádné další nové informace. Cílem vývojového prostředí LabVIEW je to, aby blokové schéma bylo koncovým tvarem aplikace, který se již dále nebude převádět do textové podoby.

LabVIEW (Laboratory Virtual Instruments Engineering Workbench) je obecným vývojovým prostředím s bohatými knihovnami pro vytváření aplikací zaměřených do oblasti měření ve všech fázích tohoto procesu tj. sběru, analýzy a prezentace naměřených dat. Podporuje všechny čtyři základní způsoby sběru dat do počítače (z měřicích přístrojů přes rozhraní RS 232 nebo GPIB, ze zásuvných multifunkčních karet a ze systému na bázi VXI sběrnice). Poskytuje uživateli plnohodnotný programovací jazyk se všemi odpovídajícími datovými a programovými strukturami v grafické podobě - tzv. G jazyk (Graphical language). LabVIEW je tedy vývojovým prostředím na úrovni např. C jazyka, ale na rozdíl od něj není orientován textově, ale graficky. Výsledný produkt tohoto vývojového prostředí se nazývá



## 5.4 Komunikace s měřicí kartou

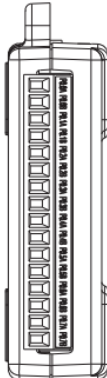
Všechny vyjmenované prostředí výše komunikují s měřicí kartou pomocí takzvaného Global Virtual Channel, který byl vytvořen pomocí NI-DAQmx v prostředí NI MAX, což je grafické, uživatelské rozhraní, které nám umožňuje snadno přistupovat k rozhraním připojených k PC, konfigurovat virtuální přístroje a testovat jejich funkčnost. S jeho pomocí lze například vytvářet a upravovat kanály měřicí karty, provést její diagnostiku a otestovat ji.

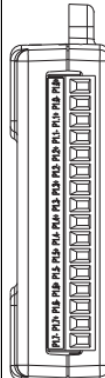


Obr. 5.5 Prostředí NI MAX

V další řadě je si třeba objasnit, co je vlastně NI-DAQmx. Toto označení nese nejnovější ovladač od NI vyvinutý pro sběr dat. Jeho nedílnou součástí jsou pak zmíněné Global Virtual Channel, což jsou SW subjekty, které v sobě nesou informaci o adrese fyzického kanálu, jeho rozsahu, konfiguraci a vzorkování. V souhrnu lze konstatovat, že vytvořením Global Virtual Channel předáme aplikaci všechny potřebné informace pro komunikaci, kdy MAX v registrech operačního systému přečte informace o ovladači zařízení a přiřadí zařízení logické jméno pro NI-DAQmx.

Vyvedení jednotlivých vstupů a výstupů dopravníkové linky bylo popsáno v kapitole 3.3. V této části práce došlo k jejich fyzickému připojení k měřicí kartě. Na levém obrázku níže je modul výstupů a v části tabulky „Linka-výstup“ je zaznačeno, který výstupní signál z linky k němu byl připojen. Totéž analogicky pro pravý obrázek.

Module	Terminal	Signal	Linka - výstup
	1	P0.0A	Svetlo
	2	P0.0B	
	3	P0.1A	Ventil_A
	4	P0.1B	
	5	P0.2A	Ventil_B
	6	P0.2B	
	7	P0.3A	Ventil_C
	8	P0.3B	
	9	P0.4A	Pas
	10	P0.4B	
	11	P0.5A	
	12	P0.5B	
	13	P0.6A	
	14	P0.6B	
	15	P0.7A	
	16	P0.7B	

Module	Terminal	Signal	Linka - vstup
	17	P1.0+	Zasobnik
	18	P1.0-	
	19	P1.1+	Cidlo
	20	P1.1-	
	21	P1.2+	
	22	P1.2-	
	23	P1.3+	
	24	P1.3-	
	25	P1.4+	
	26	P1.4-	
	27	P1.5+	
	28	P1.5-	
	29	P1.6+	
	30	P1.6-	
	31	P1.7+/PFI 0+	
	32	P1.7-/PFI 0-	

Obr. 5.6 Modul výstupů a vstupů měřicí karty

Následně došlo k vytvoření Global Virtual Channels jednotlivých vstupů a výstupů, viz Obr. 5.7



Obr. 5.7 Vytvořené Global Virtual Channels

Na obrázku níže je ukázka vytvořené Global Virtual Channel s názvem Svetlo a odkaz se na Port0, což značí výstupní část měřicí karty, a Line0 odpovídající terminálu P0.0A a P0.0B. K tomuto portu bylo fyzicky připojeno ovládání osvětlovače.

Hide Details	Order	Physical Channel	Device Type
 Svetlo	0	Dev1/port0/line0	USB-6525

Obr. 4.3 Ukázka vytvořeného Global Virtual Channel



## 6 NÁVRH A REALIZACE APLIKACE V NI VISION BUILDER

V následující kapitole bude popsána kamerový systém, který byl speciálně vytvořen, a následně předveden na Dnech otevřených dveří Fakulty strojní VŠB-TU v Ostravě. Cílem kamerového systému bylo spíše přilákat návštěvníky zajímavou ukázkou, než samotný kamerový test, který však byl plně funkční. Při realizaci tohoto úkolu došlo k prvnímu fyzickému propojení dílčích prvků kamerového systému, které byly popsány v kapitole 3. a tudíž proto je tato aplikace popisována jako první.

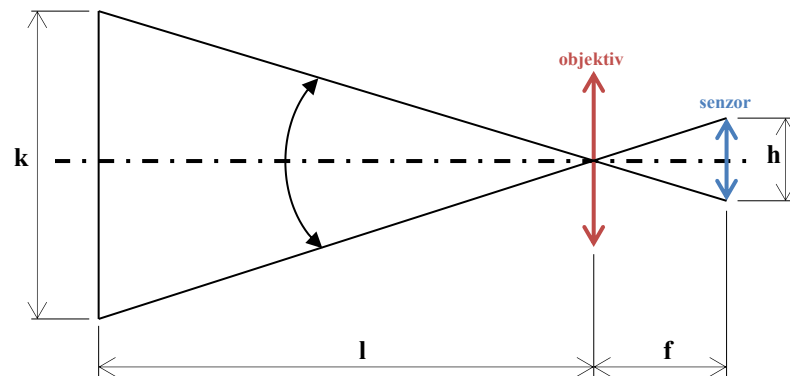


Obr. 6.1 Sestavený kamerový systém

### 6.1 Sestavený kamerový systém

Jednalo se o soustavu jednotlivých hliníkových profilů tvořících čtvercovou základnu soustavy, na níž byl kolmo umístěn další profil, a na něj byla následně upnuta kamera (Obr. 5.1). Což mělo za následek to, že výsledná vzdálenost kamery od objektivu šla libovolně měnit dle vlastního uvážení. Aby však byla snímána, co největší možná plocha, byla kamera umístěna do maximální možné polohy profilu. Takže celé omezení spořívalo v délce profilu a také v minimální vzdálenosti objektivu od snímání plochy, z důvodů vlastností objektivu, který umožňuje zaostřovat až od vzdálenosti 15cm. Pomocí následujících výpočtů bylo zjištěno zorné pole, tedy

snímaná pracovní plocha, a z tohoto zjištění pak vycházely zvolené strojní součástky.



Obr. 6.2 Schéma objekt-objektiv-senzor

Při výpočtu zorného pole vycházíme ze vzorců:

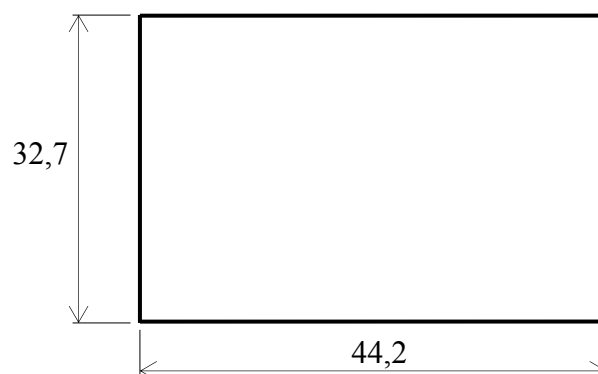
$$k = h \cdot \frac{l}{f} \quad (5.1)$$

$$m = v \cdot \frac{l}{f} \quad (5.2)$$

kdy je

- k - výška zorného pole [mm],
- m - šířka zorného pole [mm],
- h - velikost senzoru [mm],
- l - vzdálenost objektu od objektivu [mm],
- f - ohnisková vzdálenost [-].

Z tabulkových hodnot objektivu a kamery byly vyčteny parametry nutné k výpočtu a poté byly vypočteny hodnoty zorného pole.

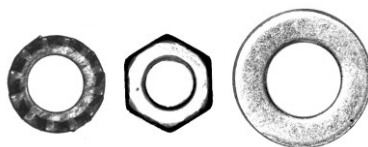


Obr. 6.3 Zorné pole kamery

## 6.2 Volba inspekčních předmětů

Po zjištění pracovní plochy bylo nutné zvolit zkoumané objekty. Po vlastní úvaze a zvážení všech možností jsem dospěl k závěru, že aby aplikace byla pro návštěvníka se strojním zaměřením, co možná nejlákavější, přistoupil jsem k výběru následujících strojních součástek (viz Obr. 6.4):

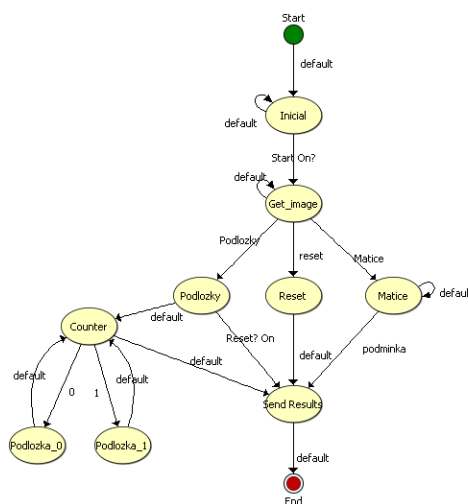
- Podložka vějířová s vnějším ozubením M6,
- podložka pro šrouby M8,
- matice M6.



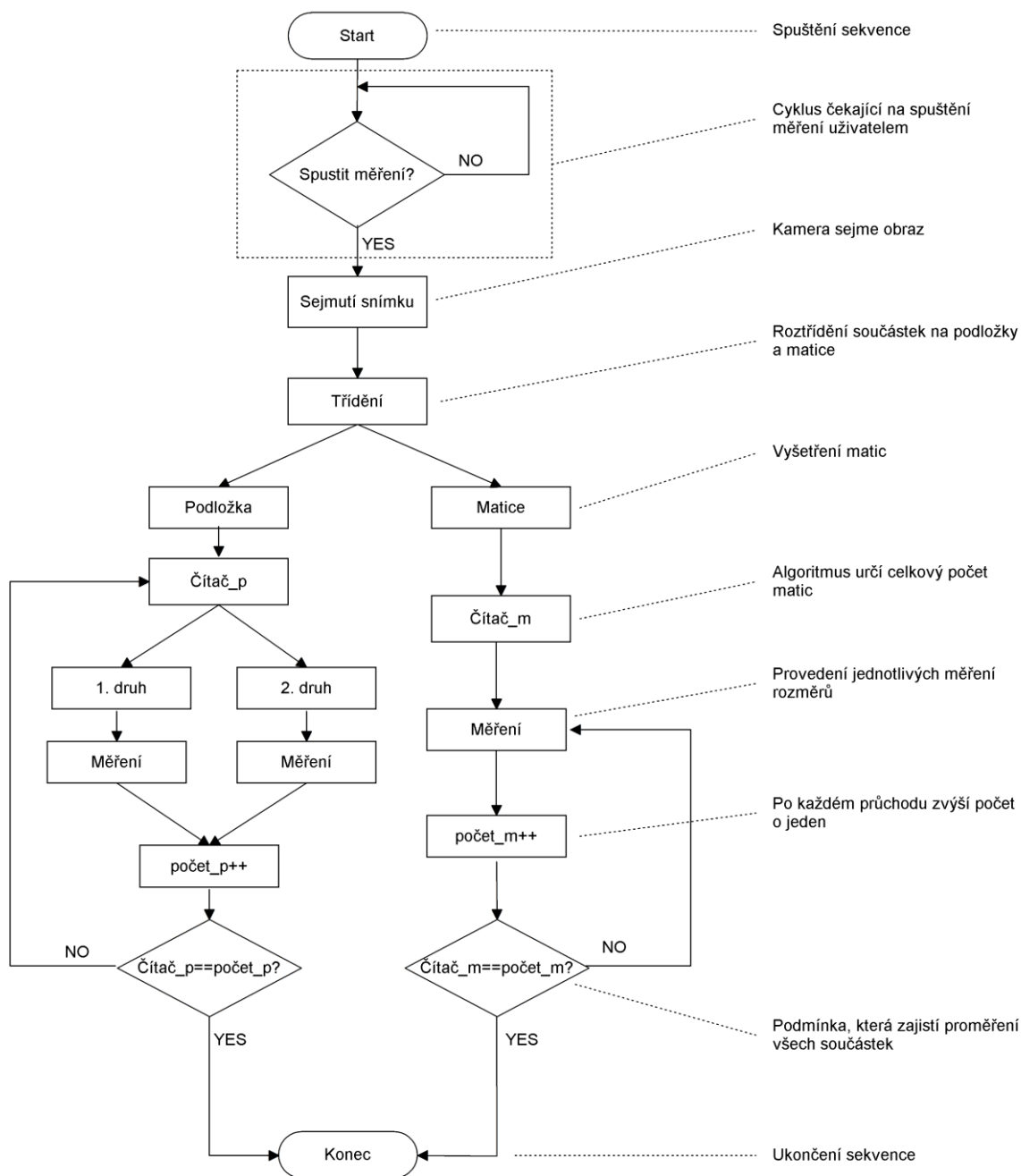
Obr. 6.4 Vybrané strojní součástky

## 6.3 Vzorová aplikace

Jak již bylo zmíněno výše, tak byla vytvořena aplikace, která měla za úkol roztrždit a změřit jednotlivé strojní součástky. Bohužel se jednalo pouze o statickou ukázkou, tzn. pro změnu snímaného obrazu bylo vždy nutné vlastním zásahem změnit rozmístění jednotlivých součástek, či jejich složení obměnit. Pro měřicí aplikaci byl vytvořen algoritmus, který je popsán na následující straně (Obr. 6.6) a podle něj byl vytvořen algoritmus řízení i ve VB, viz Obr. 6.5.



Obr. 6.5 Vývojový diagram VB



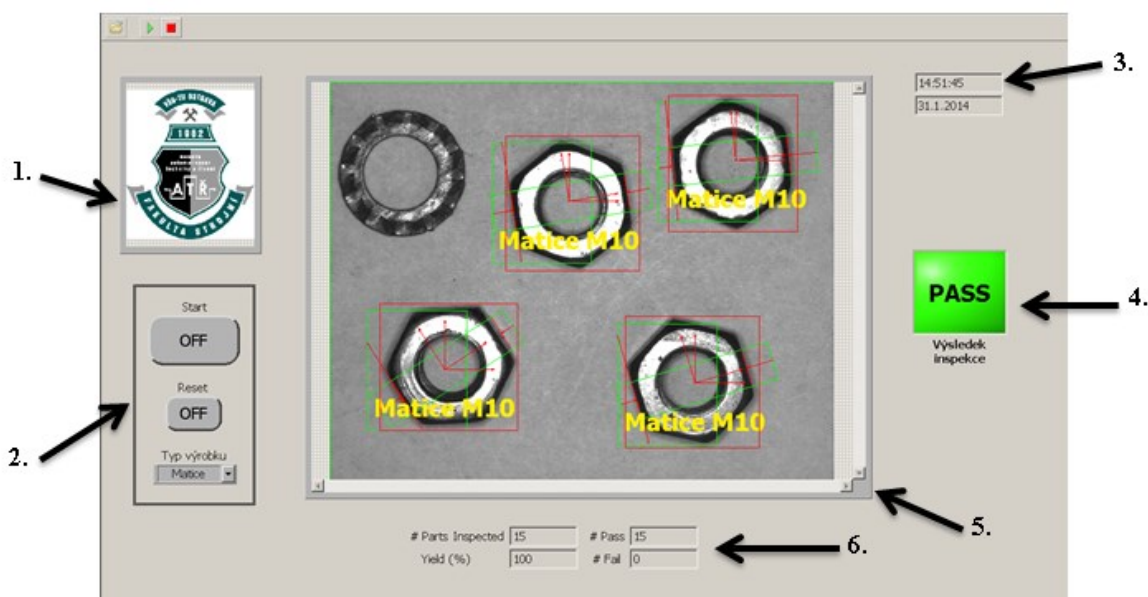
Obr. 6.6 Algoritmus měřicí aplikace

## 6.4 Klasifikace podložek

Jelikož byly vybrány dvě součástky stejného typu, avšak lišící se rozměrem, bylo nutné provést takzvanou klasifikaci. Funkce je založena na hledání vzorů na zadaném snímku. To znamená, že v prvním kroku byly vytvořeny dvě klasifikační třídy, každá třída odpovídá jednomu druhu podložky. Do jednotlivých tříd byly postupně přidány vzory podložek a proběhlo vyladění jednotlivých vzorů.

## 6.5 Uživatelské prostředí

Poslední částí aplikace spočívalo ve vytvoření uživatelského prostředí aplikace. Vision Builder využívá pro tuto vývojovou část aplikace prostředí LabView. Takže můžeme pomocí jednotlivých prvků buď řídit jednotlivé proměnné aplikace, nebo naopak tyto prvky poslouží jako identifikátory stavů. Jedinými řídicími prvky jsou proměnné „Start“, „Reset“ a „Typ výrobku“. Tlačítko „Start“ slouží ke spuštění celé aplikace, „Reset“ provede nulování statistik inspekce a pomocí „Typ výrobku“ se nastavuje typ testu součástek. Jednotlivé prvky uživatelského prostředí jsou popsány níže.



Obr. 6.7 Uživatelské prostředí aplikace

1. Prvek pro zobrazení loga katedry,
2. ovládací panel celé aplikace,
3. panel zobrazující aktuální datum a čas,
4. indikátor proběhlé inspekce,
5. panel zobrazující výstup z kamery a výsledky kontroly,
6. souhrnná statistika kontroly.

## 6.6 Běh aplikace

Pro spuštění chodu aplikace slouží tlačítko Start umístěné na ovládacím panelu.

Poté se vybere typ výrobku, na kterém následně proběhne kamerový test. Velice zjednodušeně lze popsat chod v následujících krocích:

- Start aplikace a nulování vnitřních proměnných,
- zapnutí osvětlovače a sejmутí snímku,
- vypnutí osvětlovače a vyhodnocení snímku,
- vykreslení a vypsání výsledků v uživatelském prostředí.

## **6.7 Zhodnocení kontroly**

I přesto, že se jednalo o statickou ukázkou, stalo se několikrát, že součástka nebyla rozpoznána nebo byla špatně proměřena. První případ byl častější, a to z důvodů zatížení chybou při porovnávání originálu se vzorem. Tomu by se kupříkladu dalo zamezit tak, že by systém znal aspoň přibližné místo výskytu objektu a nemusel by vlastním algoritmem hledat vzor ve snímku. Navíc si systém nedokáže poradit se situací, kdyby došlo k překrytí součástí.

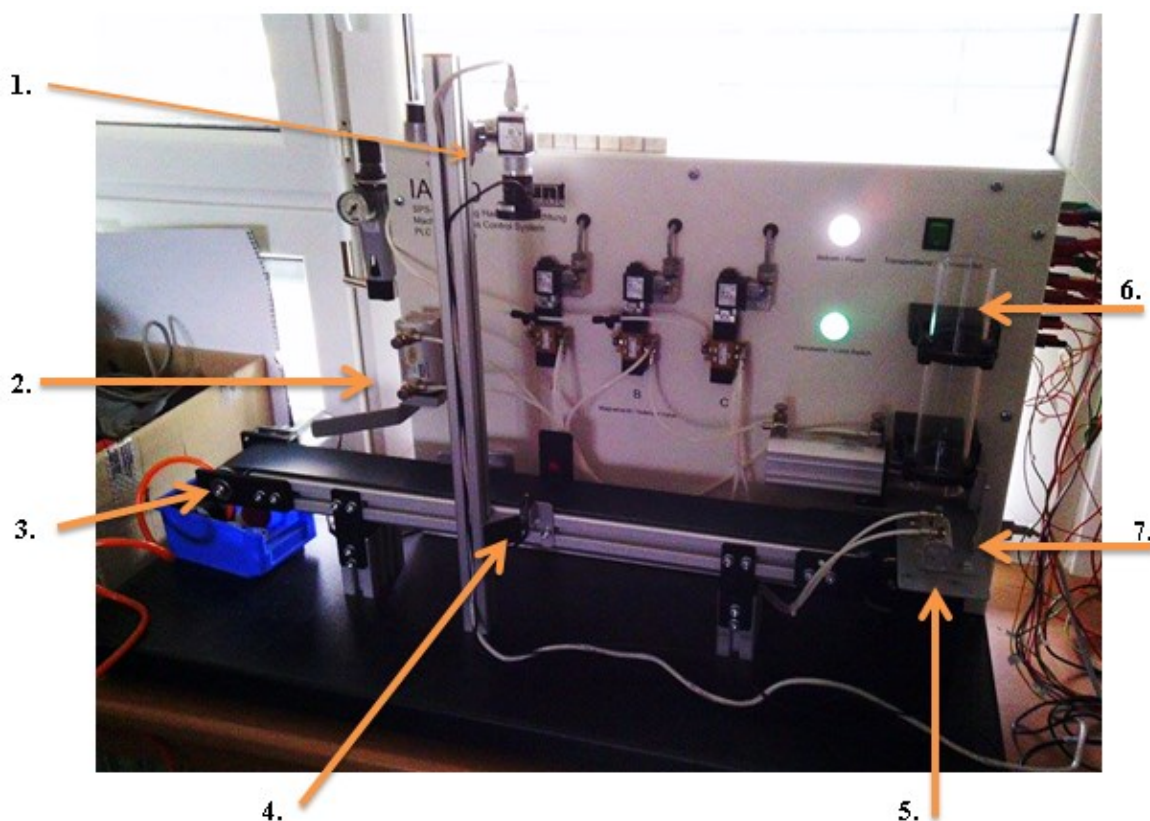
Díky tomu, že byla použita kamera s klasickým objektivem, tak došlo k radiálnímu zkreslení a tudíž měření rozměrů není tak přesné a je zatížené chybou. Pro přesné měření se používá telecentrický objektiv. Výslednou úspěšnost kontroly odhaduji na 93%. Jedná se pouze o můj vlastní odhad, jelikož nebyla sesbírána data, která by mohla určit výslednou úspěšnost.

## 7 NÁVRH A REALIZACE APLIKACE V MATLABU

Cílem vytvořené aplikace v MATLABu byla možnost ovládání a monitorování všech vstupních a výstupních prvků dopravníkové linky, kdy uživatel má možnost jednotlivé výstupní prvky ovládat pomocí počítače a také zároveň snímat kamerou dopravníkový pás.

### 7.1 Sestavený kamerový systém

V první řadě jsem sestavil kamerový systém, kdy jsem osadil výrobní linku profilem s kamerou (Obr. 7.1 - 1.) a upravil pozici fotoelektrického snímače. Poté jsem se již mohl věnovat samotné tvorbě aplikace.



Obr. 7.1 Kamerový systém dopravníkové linky

1. Hliníkový profil s kamerou, objektivem a osvětlovačem,
2. dvojčinný pneumatický válec – Ventil\_C,
3. stejnosměrný motor pohánějící pás – Pas,
4. fotoelektrický snímač – Snimac,
5. dvojčinný pneumatický válec – Ventil\_A,



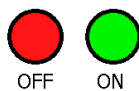
6. zásobník,
7. čidlo zásobníku – Čidlo a dvojčinný pneumatický válec – Ventil\_B.



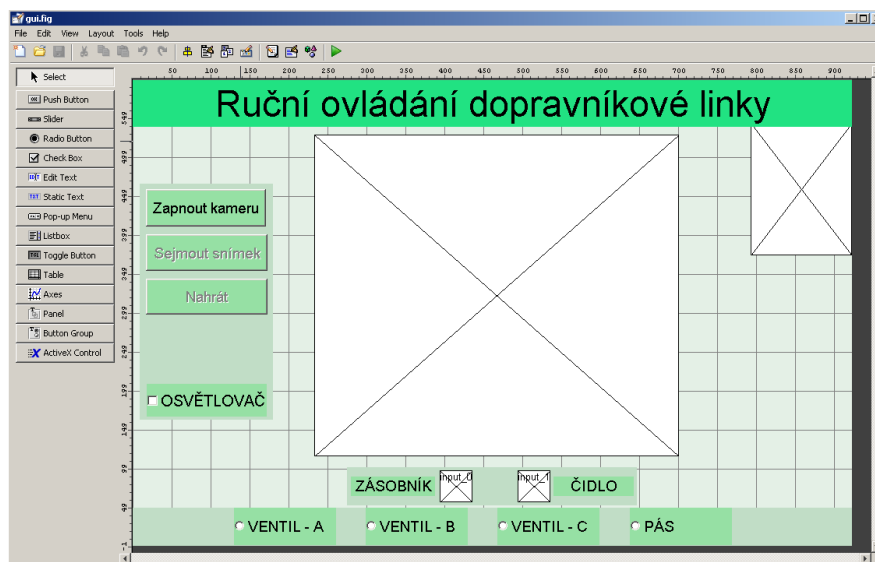
Obr. 7.2 Detail snímáče zásobníku a packy pneumatické válce ovládaného Ventilem B

## 7.2 Vytvoření aplikace

V první fázi vývoje jsem si na papír načrtl rozvržení jednotlivých objektů., kdy jsem vycházel z předpokladu, že koncový uživatel by se měl umět v aplikaci orientovat bez předešlého proškolení. Výsledný návrh jsem pomocí GUIDE, který byl dříve popsán v kapitole 5.1, převedl do grafické podoby. Zapínání a vypínání jednotlivých výstupů dopravníkové linky je realizováno pomocí *Radio Button*, který v GUIDE plní funkci přepínače. Monitorovaným vstupům bude dle jejich hodnoty přiřazen jeden z následujících obrázků, viz Obr. 7.3.

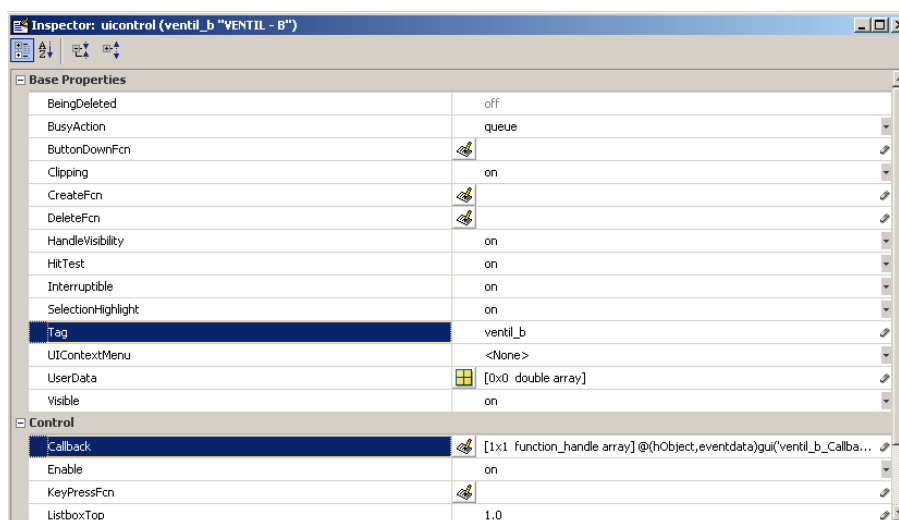


Obr. 7.3 Obrázky přiřazené dle hodnoty vstupů



Obr. 7.4 Rozvržení objektů pomocí GUIDE

Pomocí *Property Inspector* lze nastavit rozšířené parametry jednotlivých objektů. Samozřejmě závisí na typu použitého objektu, kdy například výše zmíněný *Radio Button* nebude mít možnost zadání maximálního rozsahu. Nejdůležitější vlastností každého objektu v *Property Inspector* je jeho *Tag* (název proměnné) a zápis funkce *Callback*. Pomocí nich se pak lze ve vygenerovaném M-file odkazovat na jednotlivé vytvořené objekty.



Obr. 7.5 Ukázka Property Inspector pro Radio Button Ventil B

Poté došlo k samotnému vygenerování M-file a jeho naprogramování. V první řadě jsem naprogramoval zapínání výstupů měřicí karty. Samotný MATLAB poskytuje podporu pro DAQ. Lze totiž doinstalovat takzvaný Data Acquisition

Toolbox, což je SW, který poskytuje kompletní sadu nástrojů pro čtení/zápis z analogových/digitálních vstupů a výstupů. Tento toolbox je plně kompatibilní s NI-DAQmx a mou měřicí kartou.

```
% --- SVETLO
function svetlo_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to checkbox1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

%-----inicializace karty-----
dio = digitalio('nidaq', 'Dev1'); %Inicializace karty
hline = addline(dio, 0, 'out'); %inicializace digital out
%-----
tlac_svetlo=0;
tlac_svetlo=get(hObject,'Value');
if tlac_svetlo==1
    putvalue(dio.Line(1), [1]); %SVETLO ON
else
    putvalue(dio.Line(1), [0]); %SVETLO OFF
end
```

Obr. 7.6 Ukázka kódu pro ovládání osvětlovače

Není smyslem práce popisovat jednotlivé části vytvořeného kódu. Proto nyní popíšu funkce, jak dochází v prostředí MATLAB ke komunikaci s kamerou a následnému vykreslení získaného snímku.

K samotné inicializaci kamery dochází až po vyvolání funkce uživatelem po stisknutí příslušného tlačítka v hlavní obrazovce. Je konstantně nastaveno výsledné rozlišení rozlišení kamery i počet získaných snímků za jednu vteřinu.

```
handles.video = videoinput('winvideo', 2, 'UYVY_1280x1024');
set(handles.video, 'ReturnedColorSpace', 'grayscale');
set(handles.video, 'TimerPeriod', 0.05, ...
    'TimerFcn', ['if(~isempty(gcf)), ...
        'handles=guidata(gcf);' ...
        'frame=getsnapshot(handles.video);' ...
        'imshow(frame);' ...
        'set(handles.zobrazeni, 'ytick', [], 'xtick', [], '...' % Smaz popisy os
        'else ' ...
        'delete(imaqfind);' ... % Smaz puvodni obrazek
        'end']);
triggerconfig(handles.video, 'manual');
handles.video.FramesPerTrigger = Inf; % Snimej dokud není STOP
```

Obr. 7.7 Ukázka kódu –pro inicializaci kamery

Po kliknutí uživatele na tlačítko Zapnout kameru, dojde k zavolání funkce *ini*, která zavolá předešle popsanou funkci a odstartuje tak samotné snímání.

```

% --- spuštění snímání
function ini_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to ini (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
if strcmp(get(handles.ini,'String'),'Zapnout kameru')
    % zobrazení is off. Change button string and start zobrazení.
    set(handles.ini,'String','Vypnout kameru')
    start(handles.video);
    set(handles.sejmout,'Enable','on');
    set(handles.snimani,'Enable','on');
else
    % zobrazení is on. Stop zobrazení and change button string.
    set(handles.ini,'String','Zapnout kameru')
    set(handles.sejmout,'Enable','off');
    set(handles.snimani,'Enable','off');
    stop(handles.video)
end

```

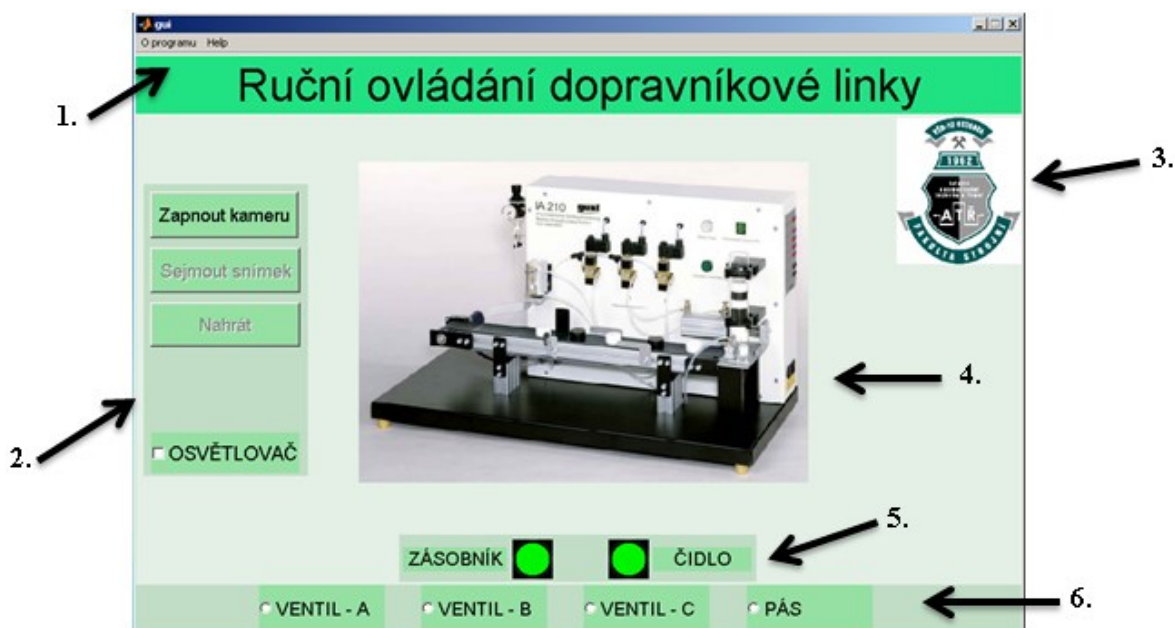
Obr. 7.8 Ukázka kódu pro snímání

### 7.3 Popis vytvořené aplikace

Na několika následujících řádcích bude popsáno prostředí vytvořené uživatelské aplikace. Výsledná aplikace je plně funkční *exe* soubor, který umožňuje uživatelsky ovládat výstupy dopravníkové linky, monitorovat její vstupy a získávat obraz z kamery. Pomocí této aplikace lze jednotlivé snímky z kamery uložit pro další zpracování, nebo lze uložit přímo část snímaného videa.

#### Hlavní obrazovka

Po spuštění M-file se objeví následující obrazovka, viz Obr. 7.9, jejíž prvky jsou následně popsány níže.



Obr. 7.9 Uživatelské prostředí aplikace

1. Nabídková lišta,
2. ovládací panel pro kameru a její osvětlovač,
3. prvek pro zobrazení loga katedry,
4. úvodní obrázek, který je po zapnutí kamery nahrazen snímaným obrazem,
5. panel zobrazující stav vstupů,
6. panel pro ovládání výstupů.

## Ovládání kamery

Jak již bylo popsáno výše, pomocí vytvořené aplikace lze získat snímky z kamery. Po kliknutí na tlačítko Zapnout kameru, které je umístěno v levé části aplikace (Obr. 7.10), dojde k přepsání úvodního obrázku aktuální snímkem z kamery, viz Obr. 7.11.



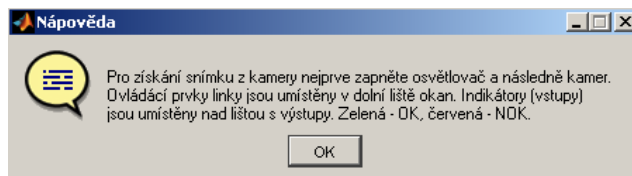
Obr. 7.10 Ovládací panel kamery při zapnutém nahrávání



Obr. 7.11 Aplikace při zapnutém snímání

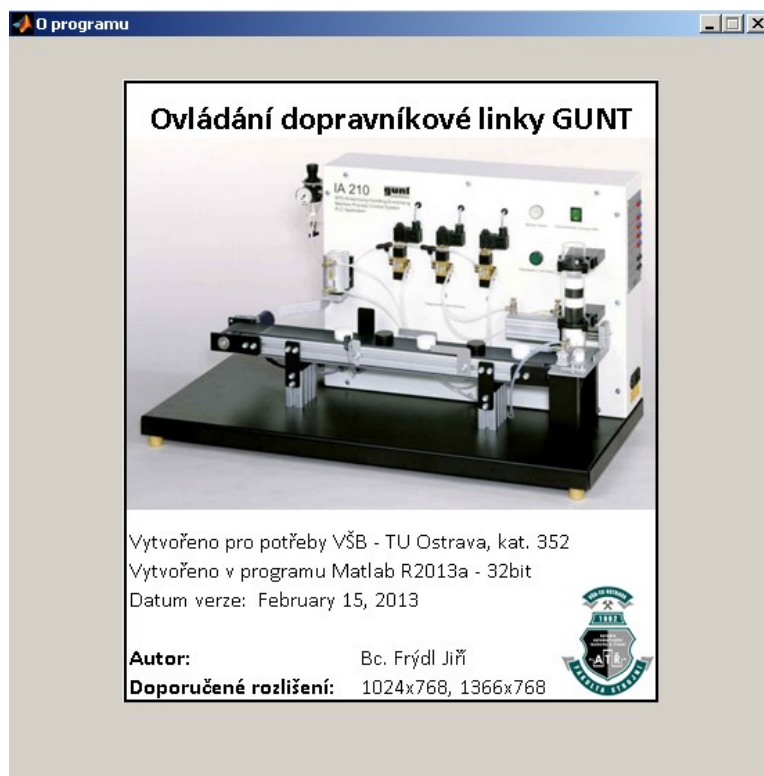
## Nabídková lišta

Nabídková lišta nabízí dvě možnosti, které může uživatel zvolit. Jedná se o nápovědu, která mu má přiblížit ovládání aplikace tak, aby byl schopen získat snímek z kamery a základní popis rozložení aplikace. Jedná se o vyskakovací *dialog box* okno.



Obr. 7.12 Nabídková lišta – nápověda

V záložce o programu se uživatel dozví informace o spuštěné aplikaci. Jedná se o vyskakovací okno, které zobrazuje vycentrovaný obrázek s informacemi.

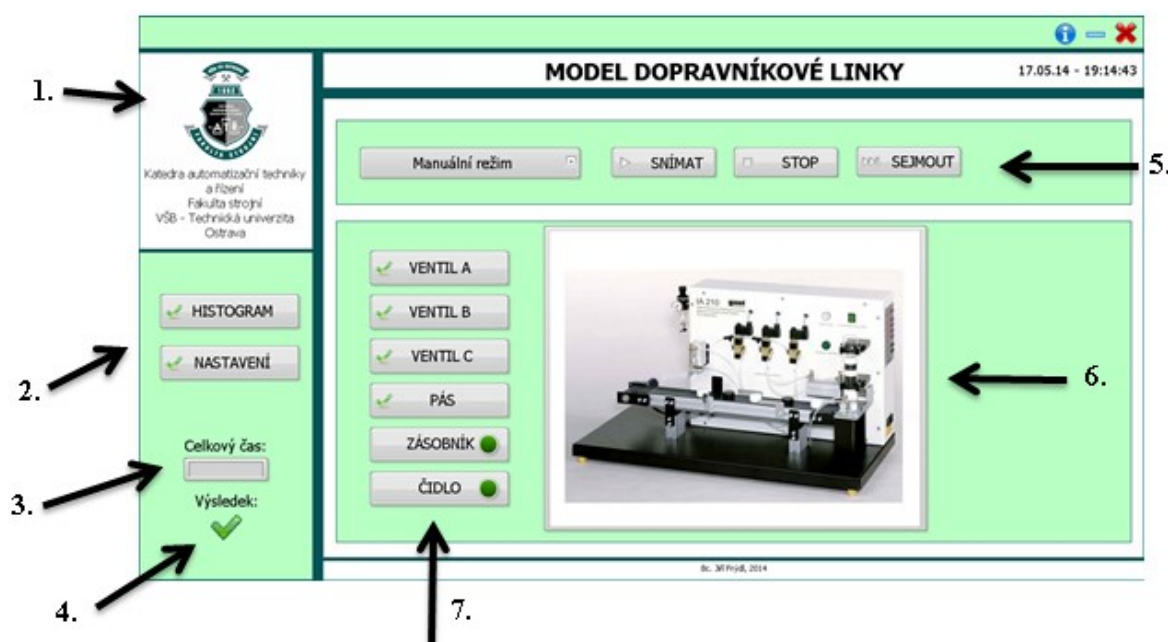


Obr. 7.13 Nabídková lišta – O programu

## 8 NÁVRH A REALIZACE APLIKACE V NI LABVIEW

Výstupem této části diplomového projektu je automatizovaný model dopravníkové linky, jejíž výstupy jsou řízeny počítačem. Dopravníkový pás je postupně plněn strojními součástkami a na jeho konci je umístěna kamera, která provádí vzhledovou kontrolu každého kusu. Ten kus, který byl vyhodnocen jako špatný, je linkou vyřazen mimo sběrné místo dobrých kusů.

Při návrhu aplikace jsem v první řadě vytvořil grafický návrh uživatelského prostředí. Při této tvorbě jsem postupoval obdobně jako při tvorbě aplikace v MATLABu, tedy v první fázi vývoje jsem si jednotlivé části rozkreslil na papír a až poté následovala samotná tvorba prostředí v LabVIEW. Co se týče požadavků na funkčnost aplikace, tak ta by měla zajistit dva různé režimy chodu, a to režim manuální a automatický. Oba tyto režimy budou dále popsány.



Obr. 8.1 Uživatelské prostředí aplikace

1. Prvek pro zobrazení loga katedry,
2. ovládací panel, v tomto případě tlačítko pro nastavení kamerového testu aplikace a zobrazení histogramu,
3. zobrazení doby kamerové inspekce,
4. výsledek kamerové inspekce,
5. panel pro ovládání chodu linky, ovládání kamery a přepínání mezi režimy,

6. výstup z kamery,
7. ovládací panel pro nastavování výstupů a čtení vstupů (pouze v manuálním režimu).

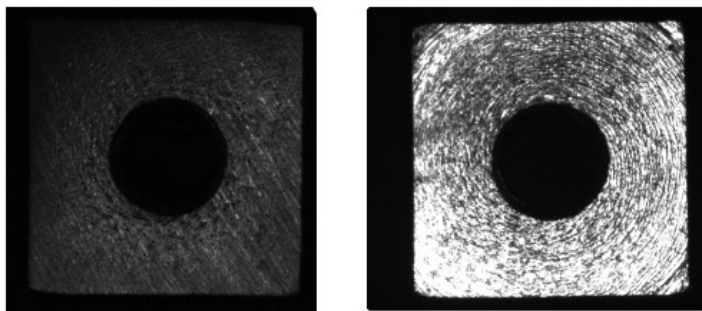
## 8.1 Manuální režim

Zde se klade za cíl analogicky zpracovat aplikaci popsanou v předešlé kapitole, čili zajistit možnost ovládání jednotlivých výstupů a vstupů dopravníkové linky pomocí tlačítek a indikátorů. Při spuštění aplikace je primárně spuštěn manuální režim, viz Obr. 8.1.

Avšak tento režim neslouží primárně jen výše uvedenému. V tomto režimu je možné uživatelsky nastavit naprogramovaný kamerový test a tím ovlivnit výtěžnost linky. Nejprve je však nutné uvést, jak a na jaké principu funguje vytvořený kamerový test.

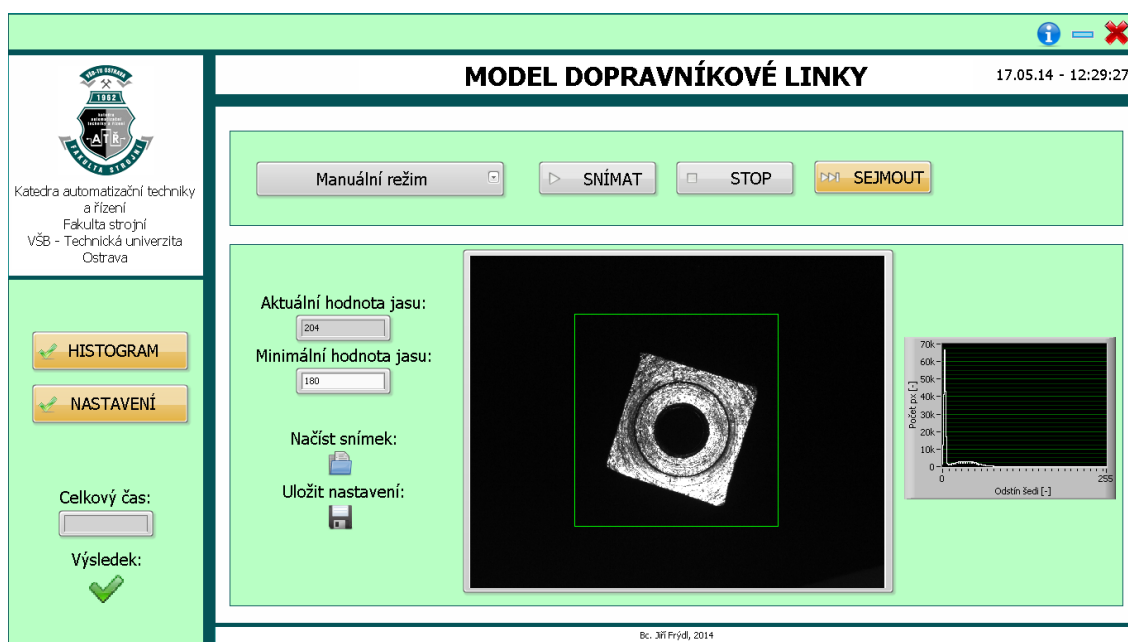
Jak již bylo zmíněno výše v kapitole 3., jedná se o vzhledovou kontrolu pocínovaných součástek. Vycházel jsem z předpokladu, že osvětlená součástka, jejíž povrch je pocínován, odráží směrem ke kameře daleko více světla, než součástka bez této povrchové úpravy. V konečném důsledku je tedy měřena intenzita (jas) odraženého světla, která je porovnávána s referenční uživatelskou hodnotou. Snímek získaný z černobílé kamery, představuje hodnota jasu 0 absolutně černou a hodnota jasu 255 absolutně bílou.

Pro tento kamerový test bylo potřeba předem manuálně upravit nastavení clony kamerového systému, který byl popsán v kapitole 6.1 tak, aby byly získané snímky z kamery rovnou použitelné pro obrazovou kontrolu a nemusely být tak na snímek použity obrazové filtry.



Obr. 8.2 Nepocínovaná - pocínovaná součástka

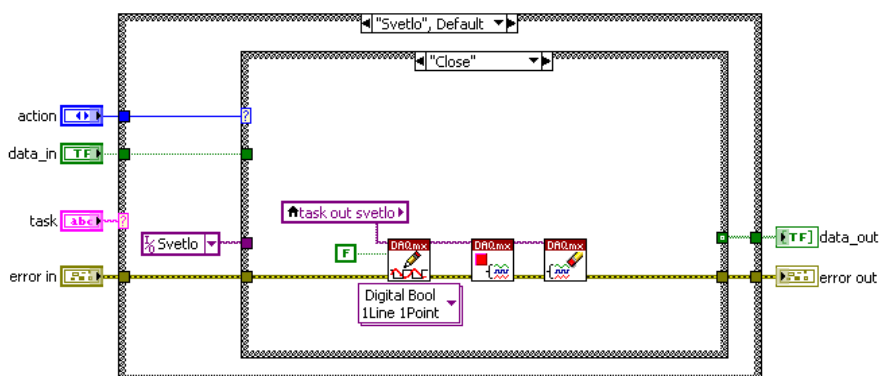




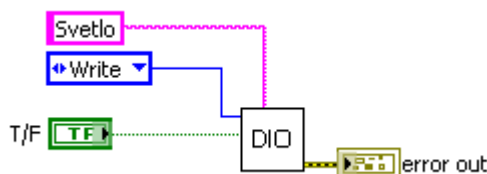
Obr. 8.3 Manuální režim - nastavení hodnoty jasu

Jak již bylo zmíněno, lze nastavit minimální hodnota jasu, která odpovídá odrazu světla pocínovaného výrobku. Toto nastavení lze provést buďto na načteném snímku z pevného disku, nebo snímku získaného z kamery. Je to pro případ, kdy se na reálných linkách normálně stává, že ten výrobek, který by prošel lidskou kontrolou jako dobrý, by nemusel projít přes kamerovou. V tomto ohledu je výpočetní algoritmus nekompromisní. Proto se po zavedení kamerového testu do výroby jede několik měsíců režim ladění, kdy se ladí jednotlivé parametry kamerového systému, v tom případě je parametr pouze. Výsledné nastavení se poté uloží na disk.

Jelikož byla vytvořena komplexní aplikace skládající se z mnoha VIs a subVIs, která umožňuje automatický a manuální chod, ukázky kódu by zabraly mnoho stran práce, proto pro názornost přikládám jen ukázkou kódu pro čtení a zápis z měřicí karty.



Obr. 8.4 VI zpracovávající zápis/čtení z měřicí karty

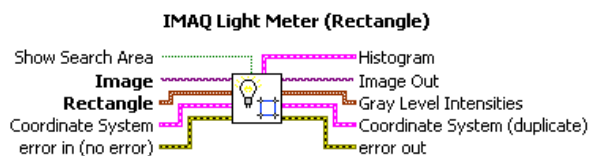


Obr. 8.5 VI zapojené v hlavním programu

### 8.1.1 Měření intenzity odraženého světla

Při měření intenzity odražené světla budu používat VI, které se jmenuje IMAQ *Light Meter* a jako vstupní hodnoty musí být přivedeny informace o vstupním obrazu a obdélníková oblast, kde se intenzita bude měřit. Výstupem pro mě bude výsledný histogram a směrodatná odchylka intenzity pixelů.

Histogram je graf absolutních četností jednotlivých jasových hodnot zastoupených v celém obrazu. Jedná se tedy o diskrétní funkci. Na vodorovné ose se nachází jednotlivé jasové úrovně od 0 do 255, na svislé ose je pak celkový počet pixelů v obraze obsahující danou hodnotu.



Obr. 8.6 VI pro měření intenzity světla, převzato [NI, 2011]

Určitému obrazu je přiřazen jeden histogram. Jednomu histogramu však může odpovídat několik obrazů. Například při změně polohy objektu na pozadí o konstantním jasu se histogram nezmění. Histogram lze chápat jako odhad hustoty pravděpodobnosti rozdělení jasu v obraze [Hlaváč, V.; Sedláček, M., 2007].

I když z výše uvedeného vyplývá, že nezáleží na velikosti vstupní obdélníkové oblasti, neboť výstupní histogram zůstane nezměněn, bude vytvořen algoritmus pro nalezení přesné polohy výrobku ve snímku. Tento krok by měl v konečném důsledku ušetřit výpočetní čas algoritmu měření intenzity.

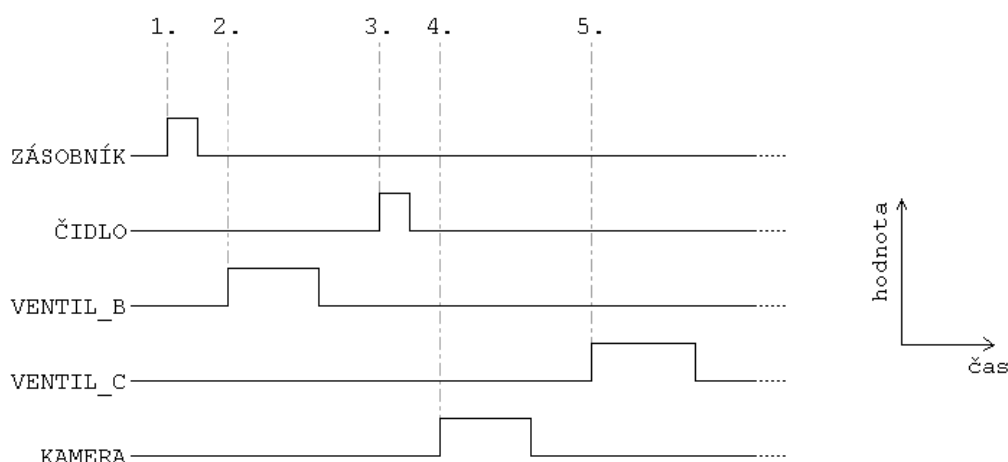
### 8.1.2 Detekce hran

Lze říci, že tam kde se hodnoty jasu bodů obrazu prudce mění, je hrana. VI pak

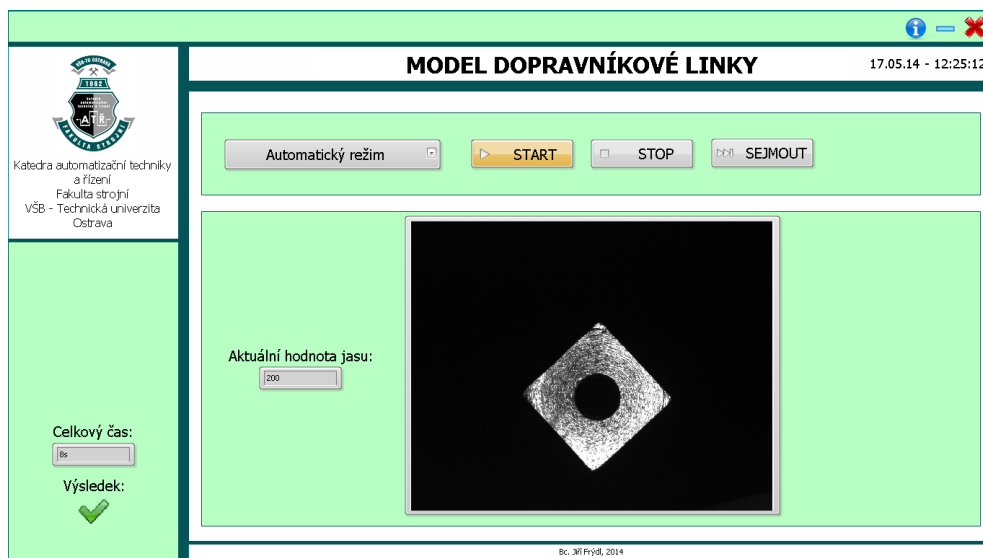


obsluhou. Pak je tedy chod linky následovný:

1. Signál Zásobník spustí chod dopravníkového pásu,
2. pomocí pneumatického válce Ventil B umístí výrobek na pás,
3. Čidlo reaguje na přítomnost výrobku,
4. předešlý signál je trigger pro osvětlení a kameru, ta sejme obraz a vyhodnotí ho,
5. pokud je výrobek špatný, Ventil C je vysunut a výrobek vytríděn z linky,



Obr. 8.9 Průběhy jednotlivých vstupů a výstupů v automatickém režimu



Obr. 8.10 Automatický režim

### **8.3 Zhodnocení aplikace**

V tomto případě již nedocházelo k takovým problémům jako u VB. Avšak i zde vystupuje chyba, a to v závislosti na minimální úrovni jasu, ale to lze změnit nastavením jedné hodnoty. Pro výrobky, které byly označeny jako vadné, vyšla kontrola vždy stejně. Avšak je nutné brát v potaz, že je to jen model výrobní linky a nemám reálné data z výroby pro porovnání, tzn. samotné ověření proběhlo jen na velice omezeném množství výrobků a v minimálním čase.

## 9 MOŽNOST ROZŠÍŘENÍ MODELU VÝROBNÍ LINKY

Pokud se mám vyjádřit k modelu výrobní linky, tak dle mého názoru se jedná o výbornou pomůcku pro výuku, jelikož je možné věrohodně simulovat reálný chod výrobní linky. Student si tak může otestovat nabitě znalosti z výuky a linku řídit například pomocí PLC.

Avšak se příliš nehodí pro simulaci kamerového testu na výrobní lince. Postupem času jsem se propracoval k tomu, že přímočarý pneumatický válec, který obsluhuje dávkování součástek na pás, je při větším tíhovém zatížení neovladatelný, což následně znemožňuje použití jakýkoliv jiných součástí než těch, které dodal výrobce linky (v této práci nebyly použity). Proto bych si jako další možné zlepšení chodu linky představoval změnu dávkování výrobku na pás, například pomocí vibračního dávkovače nebo robotického ramene, což by mohlo být tématem budoucí diplomové práce.

Navíc v současné chvíli lze provést vzhledovou kontrolu pouze styčné plochy výrobku směřující ke kameře, tzn. nelze provést oboustrannou inspekci. Vše záleží na výrobcích a výsledné a jejich výsledné kvalitě, kdy kontrola pouze jedné styčné plochy je dostačující.

Rychlost motoru pohánějící pás je pouze  $22 \text{ min}^{-1}$  s převodovým poměrem 142,5:1, což v konečném důsledku způsobuje pomalý chod pásu. Proto bych doporučil vyměnit tento motor za rychlejší, aby tím mohla být zvýšena konečná výtěžnost linky.

## 10 ZÁVĚR

Po důkladném seznámení se s modelem výrobní linky od německé firmy GUNT, která umožňuje ovládat celkem čtyři různé výstupy a monitorovat dva vstupy, došlo k navržení jednotlivých komponent pro kamerový systém, který by umožňoval automatizovaný chod linky s kontrolou kvality výrobku pomocí kamery. Po vyřešení tohoto úkolu, kdy se jednotlivé komponenty zvolily s ohledem na typ kamerového testu a rozměru strojní součásti, došlo k prvotní realizaci propojení hardwaru se softwarem.

Byl tedy vytvořen statický kamerový test v prostředí NI Vision Builder, který měl za úkol roztřídit a následně proměřit tři různé strojní součásti, které se mohly nacházet na jednom snímku současně. Tato aplikace také byla předvedena na Dni otevřených dveří Fakulty strojní. Tudíž cílem kamerového systému bylo i přilákat návštěvníky zajímavou ukázkou, než samotný kamerový test, který však byl plně funkční. Při této realizaci byla poprvé využita komunikace s měřicí kartou, přes kterou byl spínán osvětlovač.

Předchozí aplikací byla otestována vzájemná komunikace osvětlovače s počítačem a také samotné snímání kamery. Poté jsem mohl přejít k připojení modelu výrobní linky k měřicí kartě. Postupoval jsem analogicky jako v předešlém případě připojení osvětlovače. Po zapojení jsem vytvořil grafické uživatelské rozhraní v prostředí MATLAB, která umožňuje ovládání jednotlivých výstupních prvků a monitorování prvků vstupních. Aplikace navíc umožňuje snímání s kamery s možností uložení snímků.

V předposlední části jsem se věnoval automatizaci výrobní linky, kdy jsem vytvořil aplikaci v prostředí LabVIEW. Tato aplikace umožňuje automatický chod linky, kdy na jejím vstupu obsluha vloží výrobky na místo zásobníku a další průběh už ovládá počítač. V první řadě zapne pásový dopravník, poté pomocí Ventilů B umístí výrobek na pás. Poté počítač vyčkává do doby, než dostane signál od fotoelektrického snímače, který působí jako trigger osvětlovače a kamery. Poté sejmutím snímku se vyhodnotí kamerový test a tím se zhodnotí, zdali je výrobek dobrý a může dále pokračovat po páse, nebo je špatný a bude vyřazen. Vytvořená aplikace umožňuje uživateli konfigurovat parametr kamerového testu na načteném snímku z pevného disku nebo sejmutého z kamery. Zdrojové kódy jednotlivých aplikací byly psány tak, aby bylo možné je v budoucnu znovu využít, jakkoli rozšířit nebo modifikovat.

Na závěr diplomové práce došlo ke zhodnocení modelu výrobní linky, která je

sama o sobě výbornou pomůckou do výuky. Avšak svými technickými parametry neodpovídá skuteční výrobní lince. Jelikož vzhledová kontrola mnou vybraného výrobku trvá od jeho vložení do zásobníku po jeho dojetí na konec pásu průměrně sedm vteřin, což za hodinu chodu linky činí kolem 480 zkontrolovaných výrobků. Za sedm vteřin je zkontrolováno pocínování pouze jedné strany výrobku. Troufám si s jistotou tvrdit, že manuální kontrola člověkem by byla daleko rychlejší a navíc všestranná. Z tohoto důvodu doporučuji změnit nynější stejnosměrný motor. Taktéž je třeba upravit stávající dávkování výrobků ze zásobníku.



## 11 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- Basler AG, [online]. [cit. 2014-02-12]. Dostupné z WWW:  
<<https://www.baslerweb.com/products/ace.html?model=371>>.
- Cagaš, R. *Strojové vidění – několik úskalí návrhu systémů* [online]. 2010 [cit. 2014-05-12]. Dostupné z WWW:  
<[http://www.mii.cz/download/company/articles/Automa\\_04\\_2010.pdf](http://www.mii.cz/download/company/articles/Automa_04_2010.pdf)>.
- Dipolnet.cz, *Internetový CCTV PRŮVODCE – Objektivy*. [online]. 2014 [cit. 2014-05-07]. Dostupné z WWW: <[http://www.dipolnet.cz/internetovy\\_cctv\\_pruvodce\\_-\\_objektivy\\_bib21\\_05.htm](http://www.dipolnet.cz/internetovy_cctv_pruvodce_-_objektivy_bib21_05.htm)>
- Fujifilm, [online]. [cit. 2014-02-12]. Dostupné z WWW:  
<[http://www.fujifilmusa.com/products/optical\\_devices/machine-vision/2-3-15/hf25ha-1b](http://www.fujifilmusa.com/products/optical_devices/machine-vision/2-3-15/hf25ha-1b)>.
- G.U.N.T Gerätebau GmbH. *IA 210 PLC Application: Materials Handling Process* [online]. 2013, 3s. Dostupné z WWW: <[http://www.gunt.de/static/s3377\\_1.php](http://www.gunt.de/static/s3377_1.php)>.
- Hlaváč, V.; Sedláček, M. *Zpracování signálů a obrazů*, 2007 [cit. 2014-05-21]. Praha - ČVUT, 255s., ISBN 978-80-01-03110-0.
- HUMUSOFT © 1991 - 2014. *MATLAB* [online]. 2014 [cit. 2014-02-16]. Dostupné z WWW: < <http://www.humusoft.cz/produkty/matlab/matlab/>>.
- MATLAB Guide, *Creating Graphical User Interfaces* [online]. 2014. Dostupné z WWW: < [http://www.mathworks.com/help/pdf\\_doc/matlab/buildgui.pdf](http://www.mathworks.com/help/pdf_doc/matlab/buildgui.pdf) />.
- National Instruments Corporation, *NI USB-6525* [online]. [cit. 2014-02-12]. Dostupné z WWW: <<http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/cs/nid/203343>>
- National Instruments Corporation: *NI Vision 2011 for LabVIEW Help*. 2011 [cit. 2014-05-21].
- National Instruments Corporation: *Image Acquisition System Setup*. [online]. 2011 [cit. 2014-07-03]. Dostupné z WWW: <<http://www.ni.com/white-paper/4229/en>>.
- National Instruments Corporation: *User Guide and Specifications* [online]. Dostupné z WWW: <<http://www.ni.com/pdf/manuals/371818b.pdf>>.
- National Instruments Corporation: *What Is LabVIEW* [online]. 2010 [cit. 2014-03-05]. Dostupné z WWW: < <http://zone.ni.com/devzone/cda/pub/p/id/1141>>.
- National Instruments Corporation: *Zpracování obrazu* [online]. 2007 [cit. 2014-05-07]. Dostupné z WWW: <<http://www.ni.com/>>.
- Shenzhen Tenda Technology Co.,Ltd., [online]. [cit. 2014-02-12]. Dostupné z WWW: < <http://www.tenda.cn/tendacn/product/show.aspx?productid=397>>.

Sojka, E. *Digitální zpracování a analýza obrazů*, 2000 [cit. 2014-05-20], Ostrava VŠB, 133s. ISBN 80-7078-746-5.

Vision & Control GmbH, [online]. [cit. 2014-02-12]. Dostupné z WWW:  
<[http://www.vision-control.com/uploads/tx\\_vcproducts/series/output\\_version\\_pdf/vicolux\\_RK1220\\_series\\_2.2.1\\_en.pdf](http://www.vision-control.com/uploads/tx_vcproducts/series/output_version_pdf/vicolux_RK1220_series_2.2.1_en.pdf)>.

Vlach, J., Havlíček, J., Vlach, M. *Začínáme s LabVIEW*. Praha: Ben, 2008. 1. vydání, 248 s. ISBN 978-80-73000-245-9.

Štěpán, M. *Využití PLC pro řízení části výrobní linky*: bakalářská práce. Ostrava: Katedra automatizační techniky a řízení, Fakulta strojní VSB-Technická univerzita Ostrava, 2011, 51s. Vedoucí práce: Škuta, J.

Židek, J. *Grafické programování ve vývojovém prostředí LabVIEW*: Výuková skript [online]. Ostrava, 2002 [cit. 2014-05-18]. Dostupné z WWW:  
<[http://autnt.fme.vutbr.cz/lab/FAQ/labview/VI\\_Skripta.pdf](http://autnt.fme.vutbr.cz/lab/FAQ/labview/VI_Skripta.pdf)>.